

# Arbeitsbericht 2012 bis 2016



Hochschule Nordhausen  
Institut für Regenerative Energietechnik  
Weinberghof 4, 99734 Nordhausen  
[ret@hs-nordhausen.de](mailto:ret@hs-nordhausen.de)

Mai 2017



# Einführung

Das Institut für Regenerative Energietechnik hat in den vergangenen fünf Jahren die Energiewende in Deutschland und insbesondere in Thüringen intensiv begleitet und durch seine Arbeit unterstützt. Dazu gehört die Ausbildung junger Menschen zu kreativen und engagierten Ingenieurinnen und Ingenieuren sowie eine kontinuierliche Weiterentwicklung des energietechnischen Studienangebots der Hochschule. Dazu gehören die Forschungsarbeiten, mit denen Energiewandler und -speicher neu entwickelt oder verbessert werden. Und dazu gehören die Beratungsprojekte, in denen für Unternehmen und Gebietskörperschaften Energiekonzepte entwickelt werden.

Zentrale Voraussetzungen für die Arbeit des Instituts sind der Aufbau und die mittel- bis langfristige Absicherung des wissenschaftlichen Personals sowie die Ergänzung der technischen Ausstattung. Auf beiden Gebieten konnten in den vergangenen fünf Jahren wichtige Fortschritte erzielt werden: Befristete Beschäftigungsverhältnisse konnten in unbefristete überführt und damit der Aufbau eines akademischen Mittelbaus an der Hochschule Nordhausen vorangetrieben werden. Auch die gerätetechnische Ausstattung konnten überwiegend durch die Unterstützung öffentlicher Geldgeber ausgebaut und ergänzt werden. Die folgenden vier Geräte stehen stellvertretend für die Neuanschaffungen:

- 2013 konnte eine Pelletieranlage auf Basis einer Flachmatrizenpresse in Betrieb genommen werden. Sie dient zur Herstellung von Mischpellets (vgl. S. 36) und wurde mit Mitteln des Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (EFRE Thüringen) finanziert.
- Ebenfalls 2013 konnte eine Klimakammer mit einem Rauminhalt von gut 11 m<sup>3</sup> beschafft werden. Sie erlaubt Umweltsimulationen mit schnell wechselnden Temperatur- und Luftfeuchtigkeitsverhältnissen und wurde bisher vorrangig zur beschleunigten Alterung von Photovoltaikmodulen eingesetzt (vgl. S. 30). Die Finanzierung erfolgte aus Haushaltsmitteln des Landes Thüringen.
- Aus Eigenmitteln wurde 2015 wurde eine Wärmequelle auf Basis eines Thermoölerhitzers aufgebaut. Bei einer Wärmeleistung von 75 kW kann ein Wärmestrom mit 300 °C zur Verfügung gestellt werden. Damit können z.B. Niedertemperatur-Kreisprozesse gespeist werden (vgl. S. 40).
- Im Rahmen des Nur-Glas-Projektes (vgl. S. 22) wurde 2015 ein Kollektorleistungsprüfstand (vgl. Abb. 5.8) aufgebaut, der eine zuverlässige Ermittlung der Leistungskennwerte von Sonnenkollektoren in Anlehnung an DIN EN ISO 9806 erlaubt.

Die Bearbeitung vieler Projekte des Instituts erfordert die Zusammenarbeit von Elektrotechnikern, Maschinenbauern und Verfahrenstechnikern. Hier kommt dem in.RET seine interdisziplinäre Aufstellung zugute. Sie ermöglicht die Übertragung von Werkzeugen und Methoden

auf neue Problemstellungen. Als Beispiel kann die thermische Optimierung von elektrischen Maschinen mittels FEM- und CFD-Simulationen genannt werden (vgl. S. 25) – ein Thema, das das Institut auch in Zukunft beschäftigen wird.




**Abbildung 1: Ein nur mäßig ausgegenderter Teil des Instituts im Jahr 2014**

Für die interessante und vertrauensvolle Zusammenarbeit in den letzten Jahren danken wir unseren Projektpartnern aus der Industrie, den fördernden Ministerien des Bundes und des Freistaats Thüringen, der Europäischen Union und natürlich allen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern der Hochschule Nordhausen

Den Erneuerbaren gehört die Zukunft!

Nordhausen, der 20. Juni 2017

  
Prof. Dr.-Ing. Viktor Wesselak  
(Institutssprecher)

# 1 Institut

## Selbstverwaltung

Das Institut für Regenerative Energietechnik (in.RET) wird von einem kollegialen Leitungsgremium geführt, das aus den dem Institut angehörenden Professoren sowie einem Vertreter der Mitarbeiter gebildet wird. Der Institutsvorstand setzt sich derzeit aus den folgenden Personen zusammen:

Dipl.-Phys. Andreas Dohle  
Prof. Dr.-Ing. Joachim Fischer  
Prof. Dr.-Ing. Rainer Große  
Prof. Dr.-Ing. Thomas Link  
Prof. Dr.-Ing. Thomas Schabbach  
Prof. Dr.-Ing. Viktor Wesselak (Institutssprecher)  
Prof. Dr.-Ing. Frank Michael Wiese

Der Vertreter der Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter sowie der Institutssprecher wurden 2009 auf Widerruf bestellt. Die Organisation des Lehr- und Forschungsbetriebs obliegt der Mitgliederversammlung, die während des Vorlesungszeitraums wöchentlich tagt.

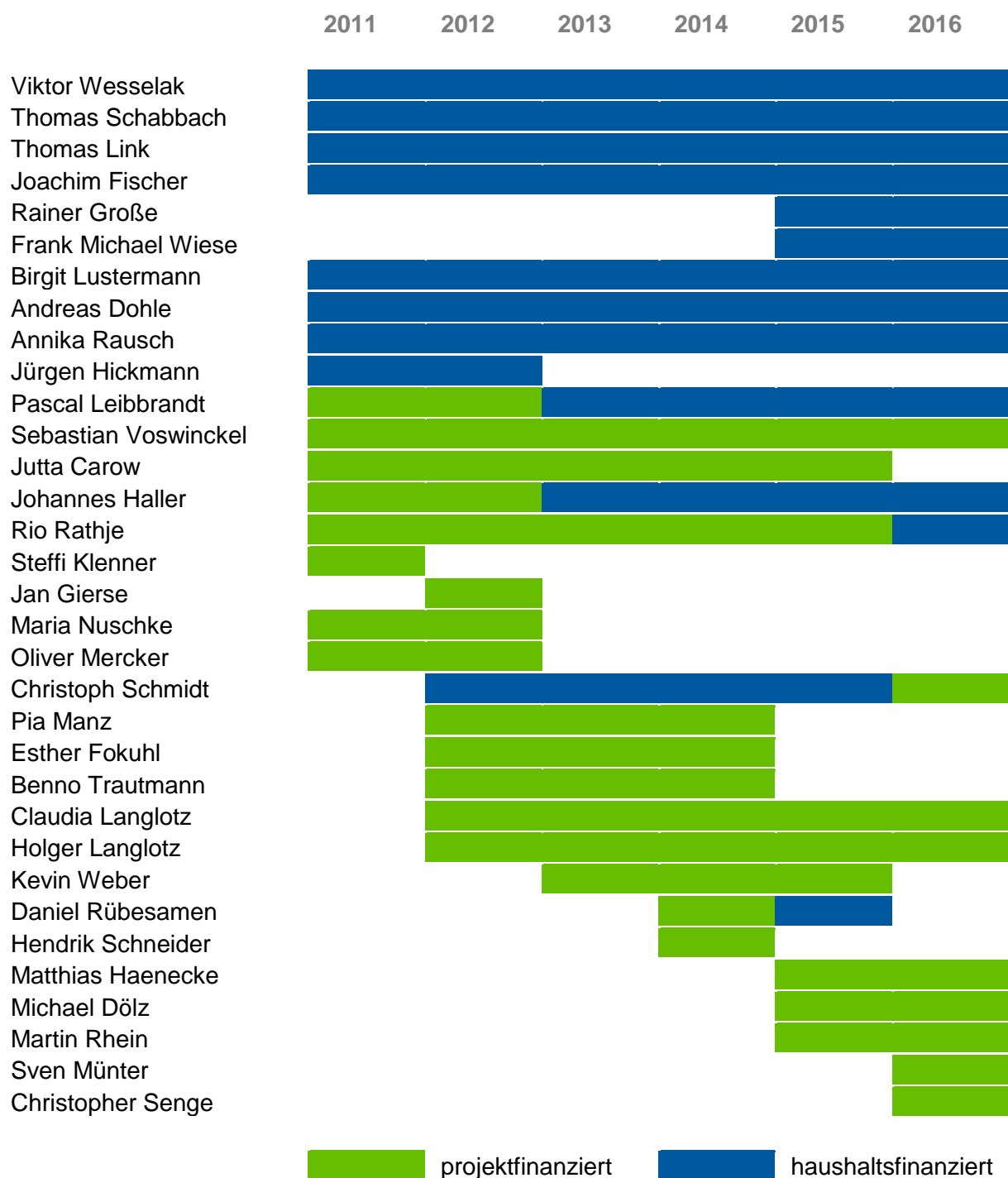
## Wissenschaftliches Personal

Das wissenschaftliche Personal des in.RET umfasst haushalts- und projektfinanzierte Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter. Zu ersteren gehören die Professuren mit den Fachgebieten

FG Bioenergiesysteme (Prof. Dr.-Ing. Joachim Fischer)  
FG Energiewirtschaft (Prof. Dr.-Ing. Rainer Große)  
FG Kraft- und Arbeitsmaschinen (Prof. Dr.-Ing. Thomas Link)  
FG Thermische Energiesysteme (Prof. Dr.-Ing. Thomas Schabbach)  
FG Regenerative Energiesysteme (Prof. Dr.-Ing. Viktor Wesselak)  
FG Projektierung technischer Anlagen (Prof. Dr.-Ing. Frank Michael Wiese)

sowie eine Lehrkraft für besondere Aufgaben, drei wissenschaftliche Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, sowie eine Teilzeitstelle für Teamassistenten. Neben diesen aus Hochschulmitteln finanzierten Stellen arbeiten weitere wissenschaftliche Mitarbeiter bzw. Projektmitarbeiter am Institut. Diese werden projektbezogen finanziert; Bausteine dieser projektbezogenen Finan-

zierung sind überwiegend forschungsbezogene Drittmittel, in geringerem Umfang auch Mittel des Qualitätspakts Lehre.



## Gastwissenschaftler

Von Oktober bis November 2016 arbeitete der algerische Gastwissenschaftler Sofiane Boulhidja, Doktorand an der algerischen Universität Jijel, in der Arbeitsgruppe Photovoltaik des in.RET. Ziel der gemeinsamen Arbeit ist die Untersuchung des Degradationsverhaltens von Dünnschicht-Photovoltaikmodulen. Der bereits seit drei Jahren bestehende wissenschaftliche Austausch soll in den kommenden Jahren intensiviert werden.

## Mitgliedschaften

Anfang 2012 und erneut 2016 wurde Thomas Schabbach in den **DSTTP-Beirat** der Deutschen Solarthermie-Technologieplattform gewählt.

Im September 2015 wurde Thomas Schabbach in den Richtlinienausschuss **VDI 3988 Solarthermische Prozesswärme** berufen.

Im September 2015 wurde Viktor Wesselak durch die Thüringer Ministerin für Umwelt, Energie und Naturschutz in den **Beirat zur Energiewende in Thüringen** berufen.

Im Dezember 2015 wurde Viktor Wesselak durch den Ministerpräsidenten des Landes Thüringen in den **Beirat zur nachhaltigen Entwicklung in Thüringen** berufen. Es ist nach 2008 und 2011 bereits seine dritte Amtszeit in diesem Gremium. Viktor Wesselak ist stellvertretender Sprecher des Nachhaltigkeitsbeirats.

Im Januar 2016 wurde Joachim Fischer durch die Thüringer Ministerin für Infrastruktur und Landwirtschaft in den **Fachbeirat Nachwachsende Rohstoffe** des Landes Thüringen berufen. Nach altersbedingten Ausscheiden von Gerd-Rainer Vollmer ist damit die Hochschule Nordhausen erneut in diesem Gremium vertreten.

## 2 Positionen

Im Herbst 2014 veröffentlichte das in.RET nach intensiver Diskussion ein Positionspapier zur Energiewende, das die gemeinsame Basis der Institutsarbeit wiedergibt.

### 6 Thesen für eine nachhaltige Energiepolitik

In den vergangenen Jahren haben die erneuerbaren Energien eine stürmische technologische und ökonomische Entwicklung genommen. Dieser Prozess ist in Deutschland durch den beschleunigten Ausstieg aus der Kernenergie in Folge der Reaktorkatastrophen von Fukushima und einem starken Zuwachs der regenerativen Stromerzeugungskapazitäten gekennzeichnet. Regenerative Energien – und hier insbesondere Photovoltaik und Windkraft – decken derzeit bereits ein Viertel des jährlichen Strombedarfs ab. Die Frage der Markteinführung regenerativer Energietechniken ist hier längst der Frage nach einer Marktintegration wachsender PV- und Windstrommengen gewichen. Ganz anders sieht die Entwicklung im Wärme- und Mobilitätsbereich aus. Fehlende Anreizstrukturen und noch ausstehende technologische Richtungsentscheidungen führen zu einer Stagnation auf niedrigem Niveau. Dabei kommt dem Wärmesektor die entscheidende Bedeutung für die Erreichung der Klimaziele zu.

Die erste Phase des Umbaus unseres Energiesystems war durch die breite Förderung unterschiedlicher Konzepte im Strom-, Wärme- und Treibstoffbereich gekennzeichnet. Diese wies im Zuge der technologischen Entwicklung aber auch der politischen Einflussnahme durchaus abrupten Wechsel auf. Beispiele sind die Förderung von biogenen Reinkraftstoffen oder der offshore-Windkraft. In der zweiten Phase muss die Energiepolitik nun dafür sorgen, dass sich die Energiekonzepte durchsetzen, die sowohl kostengünstig als auch umwelt- und klimaverträglich sind. Dies kann über eine entsprechende Ausgestaltung der Marktmechanismen als auch über eine Konzentration der Forschungsförderung geschehen. Die folgenden Thesen versuchen aus der Sicht eines ingenieurtechnischen Effizienzbegriffs die anstehenden energiepolitischen Entscheidungen bezüglich der energetischen Technologieoptionen und ihrer Kosten zu bewerten.

#### 1. Die Gesetze der Thermodynamik gelten auch bei der Energiewende

Unterschiedliche Energieformen weisen unterschiedliche Anteile von Exergie auf. Exergie ist der Anteil der Energie, der ohne Einschränkungen in eine andere Energieform umgewandelt werden kann. Je höher der Anteil an Exergie ist, desto vielfältiger kann Energie eingesetzt werden. Elektrische und mechanische Energie bestehen vollständig, Kraftstoffe überwiegend

aus Exergie. Der Exergieanteil von Wärmeenergie ist abhängig von der Temperatur und liegt beispielsweise bei einem Temperaturniveau von 60°C unter 15 Prozent.

Bei jeder Energiewandlung wird nach dem Zweiten Hauptsatz der Thermodynamik Exergie vernichtet, d.h. die Energie thermodynamisch entwertet. Besonders erheblich sind die Exergieverluste beim Einsatz elektrischer Energie zur Direktheizung (bei „PV-Wärme“ rund 85 Prozent) oder bei der Speicherung über komplexe Umwandlungsprozesse (bei „Power-to-Gas“ mehr als 60 Prozent). Vereinfacht gesagt wurde im ersten Fall ein wertvoller Energieträger unter seinen Möglichkeiten eingesetzt und im zweiten Fall aus drei Einheiten elektrischer Energie etwas mehr als eine gemacht.

Der Einsatz und die Speicherung von Energie müssen also exergieeffizient sein. Konkret bedeutet dies, dass dort wo niederexergetische Energie in Form von Raum-, Brauchwasser- oder Prozesswärme benötigt wird, zunächst niederexergetische Energiequellen wie Solarthermie, Geothermie oder Umweltwärme zu nutzen sind. Hochexergetische Energieträger sollten dabei nur ergänzend (Biomasse) oder vermittels einer Wärmepumpe (Elektrische Energie) zur Anwendung kommen.

## **2. Die Energiewende entscheidet sich im Wärmebereich**

Über die Hälfte des deutschen Endenergiebedarfs – und damit einhergehend auch der CO<sub>2</sub>-Emissionen – liegt im Wärmebereich. Der Erfolg der Energie- und Klimapolitik in Deutschland wird daher wesentlich von den Fortschritten im Wärmebereich abhängen. Dies betrifft gleichermaßen die Senkung des Raumwärmebedarfs, den effizienten Einsatz von Prozesswärme und den Ausbau erneuerbarer Energien im Wärmebereich.

Die Gebäudesanierung ist dabei nur soweit zu fördern/fordern, wie sie hinsichtlich CO<sub>2</sub>-Vermeidung und Wirtschaftlichkeit sinnvoller ist als der Einsatz erneuerbarer Energien. Deren Potenziale – insbesondere die der Solarthermie sowie der Erd- und Umgebungswärme – werden bisher in Deutschland nur unzureichend genutzt.

## **3. Tarife müssen die ökologische Wahrheit sagen**

„Preise müssen die ökologische Wahrheit sagen.“ Diese Forderung von Ernst Ulrich von Weizsäcker gilt einerseits für unterschiedliche Technologien, die auf demselben Markt agieren. Die bisherigen Mechanismen zur Einbeziehung des Klimaschädigungspotenzials durch einen CO<sub>2</sub>-Zertifikatehandel haben sich als nicht wirksam erwiesen, so dass eine direkte CO<sub>2</sub>-Abgabe erneut diskutiert werden sollte. Andererseits setzt die bisherige Tarifstruktur durch die Aufteilung in Arbeits- und Leistungspreis Anreize zu einer Vergleichmäßigung der Energienachfrage insbesondere bei mittleren und großen Abnehmern. Sie ist daher gut einer grundlastbasierten Erzeugungsstruktur angepasst. In einem überwiegend auf volatilen Energieträgern beruhenden Energiesystem muss die Tarifstruktur neue Anreize schaffen, die Energienachfrage in Zeiten großen Energieangebots zu verschieben.



#### **4. Es gibt genug Flexibilitätsoptionen**

Die zukünftige Stromversorgung in Deutschland wird im Wesentlichen durch Windkraft und Photovoltaik bestimmt werden. Die beiden Energieträger weisen eine gute saisonale Passfähigkeit auf, so dass der sich aus dem volatilen Angebot ergebende Speicherhorizont im Tages- bzw. Wochenbereich liegen wird. Darüber hinaus gibt es zahlreiche Flexibilitätsoptionen, die den Speicherbedarf reduzieren können. Ein Teil davon kann durch energieangebotsbezogene Tarife erschlossen werden.

Eine bisher kaum erschlossene Flexibilitätsoption stellt die Verbindung von Verkehrs- und Stromsektor dar. Sie ermöglicht die Mobilisierung großer, dezentraler Speicherkapazitäten. Diese können über einen Zeitraum von bis zu mehreren Tagen eine Entkopplung von Erzeugung und Verbrauch bewirken. Sie basieren entweder auf einer direkten Speicherung von elektrischer Energie in Batterien oder auf indirekten Speicherverfahren wie der Wasserstoffherzeugung oder der Methanisierung. Auch für Speicherverfahren im Verkehrssektor gilt, dass die exergetische Qualität der Energie weitgehend erhalten bleiben sollte.

#### **5. Es ist genug Zeit**

Wenngleich das Zeitfenster für einen Umbau unseres Energiesystems beschränkt ist, müssen nicht schon heute alle Fragen einer Energieversorgung des Jahres 2050 geklärt sein. Dies betrifft insbesondere große Infrastrukturinvestitionen in Netze und Speicher. Solange jedoch keine Veränderung des Strommarktdesigns erfolgt ist, wird die Einspeisung erneuerbarer Energien weiterhin einer festgesetzten Einspeisevergütung bedürfen. Dabei sind zukünftig jedoch alle Kosteneffizienzpotenziale auszuschöpfen, d.h. auf eine erhöhte Förderung vergleichsweise teurer Kleinanlagen oder schlechter Standorte ist zu verzichten.

#### **6. Die strategische Weiterentwicklung des Energiesystems muss (auch) ein volkswirtschaftliches Kostenoptimum zum Ziel haben**

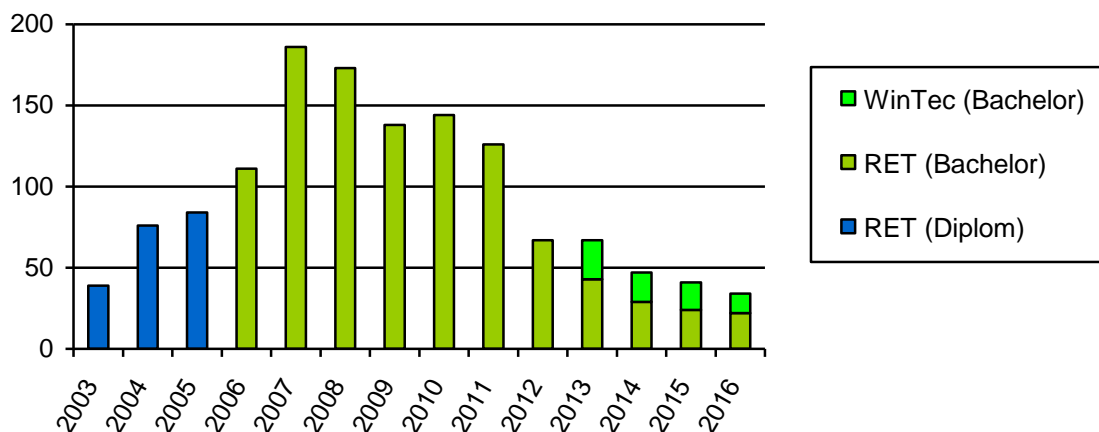
Die bisher verfolgten Ansätze zum Umbau des Energiesystems haben große Mengen privaten Kapitals mobilisiert und einen schnell wachsenden Anteil erneuerbarer Energien in das Stromnetz integriert. Für die Zukunft sollte insbesondere den Aspekten der Kosteneffizienz und der Energieeffizienz verstärkte Aufmerksamkeit geschenkt werden. Das Fehlen einer detaillierten und technologisch unteretzten Roadmap für den weiteren Ausbau der erneuerbaren Energien in Deutschland führt derzeit zu Investitionsunsicherheit bzw. lokalen Optimierungsstrategien mit letztlich höheren volkswirtschaftlichen Kosten.

Eine klimaneutrale, bezahlbare und damit soziale Energieversorgung ist Teil der staatlichen Daseinsvorsorge. Öffentliche Institutionen müssen jedoch durch eine zentrale Planung und Steuerung für das volkswirtschaftliche Kostenoptimum sorgen.

# 3 Studiengänge

## Studiengang RET

Die Nachfrage nach dem Studiengang Regenerative Energietechnik (RET) hat sich mit dem Jahr 2012 deutlich beruhigt (Abbildung 3.1). Die Ursachen für die zurückgehenden Erstsemesterzahlen liegen einerseits in den zwischen 1990 und 1992 nahezu halbierten Geburtenzahlen in Thüringen und andererseits in der wachsenden Anzahl vergleichbarer Studienangebote an anderen Hochschulen. In den Jahren 2015 und 2016 haben sich die Erstsemesterzahlen auf einem unbefriedigenden Niveau von 25 Studierenden stabilisiert. Der Anteil der weiblichen Studierenden liegt bei knapp 15 Prozent.

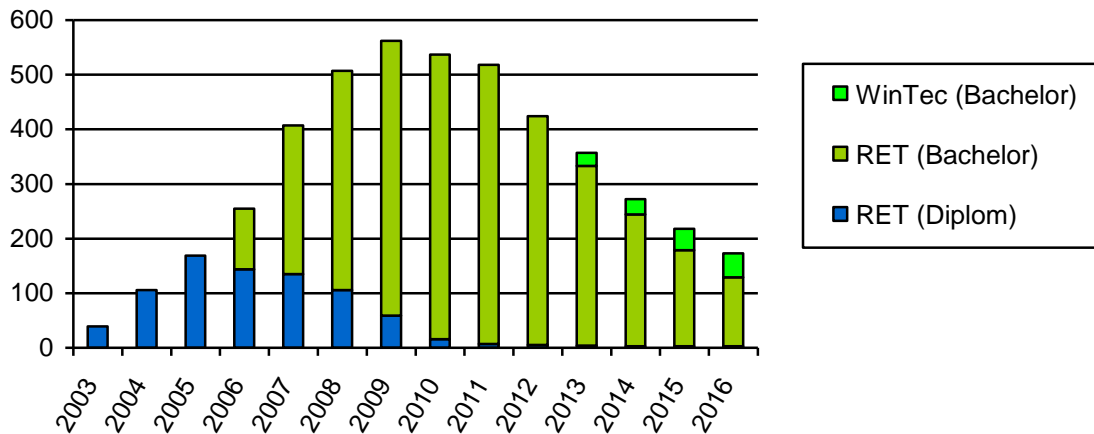


**Abbildung 3.1: Entwicklung der Erstsemesterzahlen in den Studiengängen Regenerative Energietechnik (RET) und Wirtschaftsingenieur für nachhaltige Technologien (WinTec)**

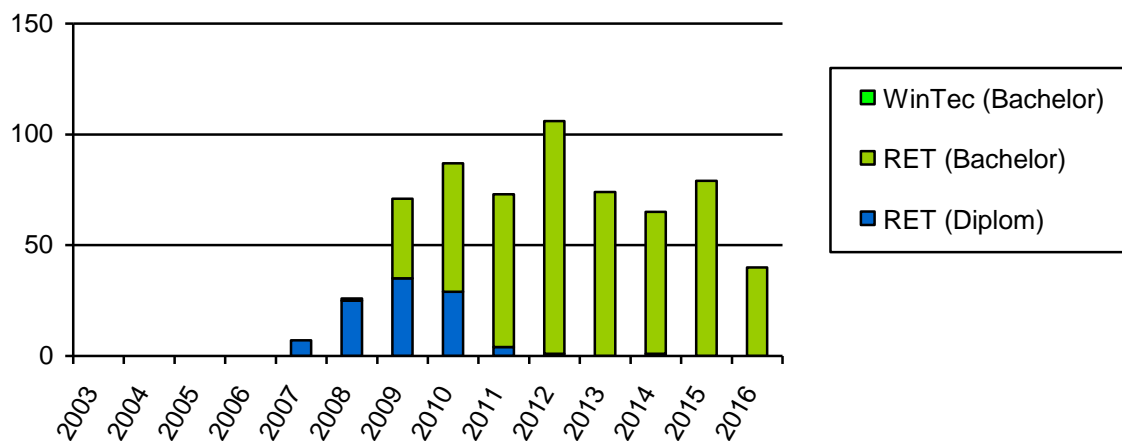
In den Absolventenzahlen (Abbildung 3.3) wirkt die Überlast aus den Jahren vor 2012 noch fort. Insgesamt schlossen bis Ende 2016 628 Studierende erfolgreich das Studium der Regenerativen Energietechnik ab, davon 526 als Bachelor of Engineering. Beim Übertritt in das Berufsleben konnten keine Akzeptanzprobleme des Abschlusses festgestellt werden, wenngleich ein nicht unerheblicher Anteil der Absolventinnen und Absolventen sich für die Aufnahme eines Masterstudiums entschieden hat. Davon profitieren konnten insbesondere die konsekutiven Masterstudiengänge der Hochschule Nordhausen.

Im Jahr 2012 erfolgte die Reakkreditierung des Studiengangs. Die curricularen Veränderungen – ein gemeinsames zweisemestriges Grundstudium für alle Bachelorstudiengänge des Fachbereichs Ingenieurwissenschaften und die Erhöhung der Regelstudienzeit auf sieben

Semester – wurden von der Akkreditierungskommission gutgeheißen. Beide Maßnahmen waren bereits zum Wintersemester 2011/12 umgesetzt worden.



**Abbildung 3.2: Entwicklung der Studierendenzahlen in den Studiengängen Regenerative Energietechnik (RET) und Wirtschaftsingenieur für nachhaltige Technologien (WinTec)**



**Abbildung 3.3: Entwicklung der Absolventenzahlen in den Studiengängen Regenerative Energietechnik (RET) und Wirtschaftsingenieur für nachhaltige Technologien (WinTec)**

Der Studiengang RET wurde im Zuge der 2015 erfolgten vollständigen Modularisierung des Studienangebots im Fachbereich Ingenieurwissenschaften erneut überarbeitet. Dabei wurde die inhaltliche Ausrichtung auf die elektrotechnischen und maschinenbaulichen Aspekte der Energietechnik grundsätzlich beibehalten. Allerdings können die Studierenden jetzt im sechsten Semester mit der Auswahl von vier aus sieben anlagentechnischen Modulen eine inhaltliche Profilierung vornehmen.

Die Funktion des Studiendekans wurde im Berichtszeitraum durch Prof. Dr.-Ing. Thomas Schabbach ausgefüllt.

## Studiengang WinTec

Erstmals zum Wintersemester 2013/14 wurde der neue Bachelorstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen für nachhaltige Technologien (WinTec) angeboten. Der Studiengang ist als Bachelor of Engineering konzipiert und ergänzt eine grundlagenorientierte ingenieurtechnische Ausbildung durch eine wirtschaftswissenschaftliche Komponente. Das Studienprofil zielt auf die Schnittstelle zwischen den technischen Anforderungen und der ökonomischen Bewertung von nachhaltigen Technologien der Energie- und Umwelttechnik. Die Studierendenzahlen sind in den Abbildungen 3.1 und 3.2 bereits enthalten.

Der Studiengang WinTec wurde im Zuge der 2015 erfolgten vollständigen Modularisierung des Studienangebots im Fachbereich Ingenieurwissenschaften überarbeitet. Dabei wurde in der inhaltlichen Ausrichtung die maschinenbauliche Komponente gestärkt. Die Funktion des Studiendekans wurde durch Prof. Dr.-Ing. Frank Michael Wiese ausgeübt.

## Masterstudienangebote

Das Institut betreut die drei energietechnischen Vertiefungsrichtungen

Elektrische Energiesysteme,  
Thermische Energiesysteme und  
Bioenergiesysteme

innerhalb des Masterstudiengangs **Systems Engineering**. Diese Vertiefungsrichtungen wurden in den vergangenen Jahren überwiegend von Absolvierenden und Absolventen des Studiengangs RET besucht. Von diesen wurde wiederholt der Wunsch nach einem RET-spezifischen Masterangebot an der Hochschule Nordhausen geäußert. Dies und die Tatsache, dass zahlreiche Absolvierenden und Absolventen des Bachelorstudiengangs RET konsekutive Masterstudiengänge der Erneuerbaren Energien an anderen Hochschulen besuchten, haben Anfang 2016 zu der Entscheidung geführt, das Masterstudienangebot vollständig zu überarbeiten.

Die Einschreibung in den Studiengang Systems Engineering soll letztmalig im Sommersemester 2017 möglich sein. Ab 2018 wird der Studiengang **Energiesysteme** dann als Master of Engineering neu an der Hochschule Nordhausen angeboten werden. Seine Lehrinhalte werden sich auf Zusammenwirken unterschiedlicher Komponenten in elektrischen oder thermischen (Energie-)Versorgungssystemen konzentrieren. Die Vermittlung der Lehrinhalte soll gleichermaßen über klassische Lehrveranstaltungen und Projektarbeiten erfolgen. Die Koordination des neuen Masterstudienangebots wird von dem Studiendekan des bisherigen Studiengangs Systems Engineering Prof. Dr.-Ing. Thomas Link übernommen.

# 4 Veranstaltungen

## Nordhäuser Energieforum

Die im Jahr 2008 ins Leben gerufene Veranstaltungsreihe wird in Zusammenarbeit mit Stadt und Landkreis Nordhausen sowie der Verbraucherzentrale Thüringen durchgeführt. Zusätzlich werden je nach Thema wechselnde Kooperationspartner hinzugezogen. Im Oktober 2012 wurde das Nordhäuser Energieforum bereits zum siebentenmal durchgeführt und stand praktisch unter demselben Thema wie zur Eröffnung vor vier Jahren: Biogas.

### 7. Nordhäuser Energieforum **Gibt Mais Gas?**

Grundsatzdebatte zur  
Biogaserzeugung

Ausgangspunkt war eine von den Stadtwerken geplante Biogasanlage, die für heftige Diskussion in der Bevölkerung gesorgt hatte. Streitpunkt war dabei vor allem der Standort und die damit verbundenen Belastungen für die Anwohner. So hatte sich bereits eine Bürgerinitiative gegen den Bau dieser geplanten Anlage gegründet.

In einem Vortrag stellten zunächst zwei Vertreter der Bürgerinitiative die möglichen Auswirkungen und Folgen einer solchen Anlage dar, so wurde u.a. eine Abwanderung von Anwohnern aufgrund drastischer Verschlechterung der Lebensbedingungen befürchtet. In den anschließenden Fachvorträgen von Prof. Dr. Dieter Sell (ThEGA), Denis Peisker (BIOBETH) und Carsten Rothballer (ICLEI), wurden ökonomische, energetische und standortspezifische Aspekte der Biogaserzeugung und –nutzung weltweit und speziell in Thüringen dargelegt sowie die Bedeutung von Biogas innerhalb der Thematik regenerativer Energien und dem Klimawandel aufgezeigt. Eine kontrovers geführte Podiumsdiskussion mit dem freien Journalisten Daniel Baumbach als Moderator schloss die Veranstaltung ab.

### 8. Nordhäuser Energieforum

NEFforum  
NORDHAUSEN

#### FUKUSHIMA 360°

Das atomgespaltene Leben der Opfer  
von Hiroshima und Fukushima

Vortrag von Alexander Neureuter  
Fotojournalist für Umwelt- und Reisetemen

Wann: 4. März 2014, 18:00 Uhr  
Wo: Fachhochschule Nordhausen, Audimax





Das 8. Nordhäuser Energieforum widmete sich im März 2014 dem Leben in der Region um Fukushima. Wie hat die dreifache Reaktorkernschmelze den Alltag und das Leben der Menschen in Japan unumkehrbar verändert? Darüber berichtete der Umweltjournalist Alexander Neureuter, der im Mai 2013 drei Wochen lang in Fukushima, Hiroshima und Tokio unterwegs gewesen war und 40 Betroffene des Atomunfalls in ihrem neuen Leben nach dem Atomunfall begleitet hat. Aus mehr als 17.000 Fotos und über 80 Interviews mit Betroffenen entstand eine beeindruckende Dokumentation über das Leben in der Präfektur Fukushima und über den hilflosen Umgang der japanischen Gesellschaft mit den Folgen der Atomkatastrophe.

Klimawandel und Klimaanpassung in Thüringen waren das Thema des 9. Nordhäuser Energieforums am 2. November 2016. Dabei wurden die Folgen des Klimawandels in Thüringen verdeutlicht und gleichzeitig Strategien zur Klimaanpassung für Städte, Gemeinden und Unternehmen in Thüringen aufgezeigt.

## ThEEN-Fachforum Erneuerbare Wärme

Das Thema Wärmeversorgung mit erneuerbaren Energien beschäftigte das in.RET auch in einer weiteren Veranstaltung. Unter der Federführung des Thüringer Erneuerbare Energien Netzwerks (ThEEN) und in Kooperation mit dem Verband der Thüringer Wohnungswirtschaft, der ThEGA und dem Verband Kommunaler Unternehmen veranstaltete das in.RET das Fachforum Erneuerbare Energien. Veranstaltungsort des von knapp 100 Personen besuchten Fachforums war Erfurt.

Zentrale Themen des Fachforums waren neben neuen politischen und regulatorischen Rahmenbedingungen, verschiedene Lösungsansätze für die erneuerbare Wärmeversorgung von Mehrfamilienhäusern, Quartieren sowie deren Einbindung in bestehende Nah-/Fernwärmeversorgungen.



# Workshop Solarthermie in der Wohnungswirtschaft

**Workshop**

**Solarthermie**  
**in der Wohnungswirtschaft**

**am Mittwoch, den 11.06.2014**  
**10:00 – 17:00 Uhr**  
**in Erfurt**



(Foto: P. Leibbrandt)

Gemeinsam mit dem Verband der Thüringer Wohnungs- und Immobilienwirtschaft (vtw.) und dem Thüringer Ministeriums für Wirtschaft, Arbeit und Technologie (TMWAT) veranstaltete das in.RET einen Workshop zum Einsatz von Solarthermie in der Wohnungswirtschaft.

In diesem Workshop wurden die technischen Voraussetzungen für einen ökonomisch erfolgreichen Einsatz von solarthermischen Anlagen zur Brauchwassererwärmung und Heizungsunterstützung in Mehrfamilienhäusern vorgestellt und durch konkrete Ausführungsbeispiele illustriert. Der Workshop richtet sich an Vertreter der Wohnungswirtschaft, regionale Versorger sowie Planer in Thüringen und wurde von etwa 60 Teilnehmerinnen und Teilnehmern besucht. Veranstaltungsort war das Zentrum der Thüringer Wohnungswirtschaft in Erfurt.

Nach einer Einführung in die Auslegungsgrundsätze für solarthermische Anlagen (in.RET) und der gesetzlichen Vorgaben nach dem EEWärmeG (vtw.) standen Erfahrungsberichte im Vordergrund. Zunächst gab Karsten Klysch (Rautal Gebäudemanagement Jena) einen Erfahrungsbericht zum Pilotprojekt Felix-Auerbach-Straße 18 - 20 in Jena. Anschließend stellten Ralf Orths (Wagner & Co, Cölbe) und Roland

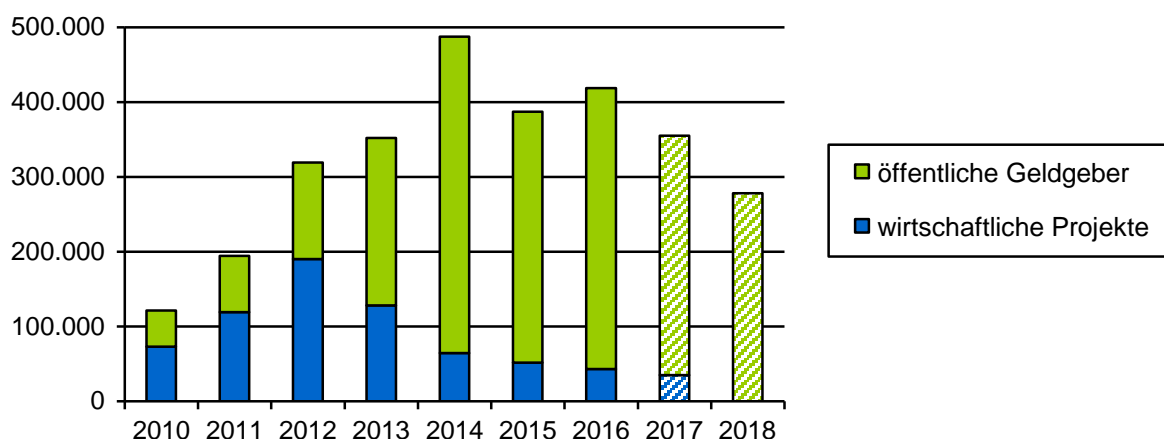
Heinzen (FSAVE, Kassel) aus ihrer anlagentechnischen Praxis weitere Ausführungsbeispiele für den Einsatz von Solarthermie im Mehrfamilienhaus vor. Abschließend wurden durch Jörg Möller (Thüringer Aufbaubank) Fördermöglichkeiten des Landes und durch Dr. Ralph Baller (BAFA, Frankfurt/M.) Fördermöglichkeiten des Bundes vorgestellt. Eine Podiumsdiskussion beschloss den Workshop.

# 5 Forschung

## Forschungsaktivitäten

Das in.RET ist Bestandteil des Forschungsangebots und der Forschungsinfrastruktur des Fachbereichs Ingenieurwissenschaften. Seine Forschungsaktivitäten richten sich entlang des Forschungsschwerpunktes GreenTech der Hochschule aus. Dabei liegt ein Schwerpunkt in der Neu- und Weiterentwicklung von regenerativen Energiewandlern und -systemen. Die Überprüfung von Konzepten oder die Entwicklung von Verfahren und Produkten, aber auch der Einsatz regenerativer Energietechnologien und ihrer Integration in bestehende Strukturen sind Gegenstand der Forschungs- und Entwicklungstätigkeit. Ferner berät das in.RET Unternehmen, Einrichtungen und Behörden zu Fragen der Energieeffizienz und Energienutzung. Auch nimmt das Institut gutachterlich Stellung zu Fragen der Energieversorgung, der regenerativen Energietechnik sowie der Energiepolitik.

Zur Finanzierung dieser Forschungsaktivitäten ist das in.RET auf Drittmittel angewiesen, die überwiegend für wissenschaftliches Personal und im geringeren Umfang auch für geräte-technische Ausstattung eingesetzt werden. In Abbildung 5.1 ist die Entwicklung der Drittmiteleinahmen differenziert nach öffentlichen und privaten Geldgebern dargestellt. Der hohe Anteil wirtschaftlicher Projekte zu Beginn der Dekade ist auf zahlreiche Messaufträge und Ertragsgutachten aus dem PV-Bereich zurückzuführen.



**Abbildung 5.1: Entwicklung der Drittmiteleinahmen des in.RET (die Werte für 2017 und 2018 geben die Anfang 2017 bereits sicheren Drittmiteleinahmen wieder)**



Im Bereich der öffentlichen Forschungsförderung konnte eine Reihe von Projekten über das Zentrale Innovationsprogramm Mittelstand (ZIM) finanziert werden. Dieses Bundesprogramm fördert Forschungs- und Entwicklungskooperationen kleiner und mittlerer Unternehmen mit Hochschulen.

Auf den folgenden Seiten ist eine Auswahl im Berichtszeitraum abgeschlossener bzw. Ende 2016 noch laufender Projekte dargestellt.

## Forschungsprogramm 2017 - 2021

In den kommenden fünf Jahren sollen die Forschungsaktivitäten des Instituts dazu dienen, einerseits bestehende Schwerpunkte zu vertiefen und andererseits neue Arbeitsfelder zu erschließen. Die folgenden Themen werden in den nächsten fünf Jahren fortgeführt:

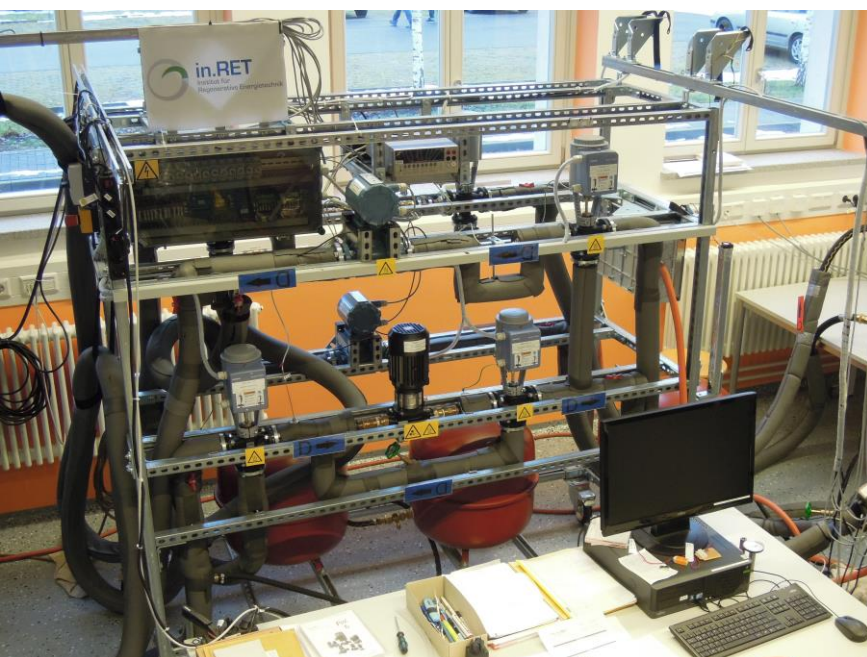
- Die Erfahrungen mit Degradationsmechanismen von Dünnschichtphotovoltaikmodulen (vgl. Seite 30) sollen auf bifaciale kristalline Solarmodule übertragen werden. Eine Projektfinanzierung dazu startete bereits 2016 (siehe Seite 34)
- Die grundlegenden Untersuchungen zu einem Nur-Glas-Flachkollektor (vgl. Seite 22) sollen in die Nullserie überführt und ein optimiertes Drainback-Betriebssystem entwickelt werden.
- Die CFD-Berechnungen für einen Null-Emissions-Wasserstoffmotor (vgl. Seite 42) sollen in eine Konstruktionsphase überführt werden, mit dem Ziel einen Prototypenprüfstand aufzubauen.

Das Institut plant, die folgenden neuen Arbeitsfelder zu entwickeln und ggf. durch Projektanträge zu untersetzen:

- Öko- und CO<sub>2</sub>-Bilanzen stellen ein wichtiges Werkzeug zur Bewertung unterschiedlicher technischer Handlungsoptionen auf Basis einer Lebenszyklusanalyse dar. Das in.RET wird in diesem Bereich Kompetenzen aufbauen um mittelfristig entsprechende Dienstleistungen anbieten zu können. Dazu soll die Software UMBERTO eingesetzt werden.
- Die Nutzung niederenthalper Wärme stellt besondere Anforderungen an die eingesetzten Kreisprozesse und ihre Komponenten. Hier plant das in.RET die Weiterentwicklung innovativer Kreisprozesse auf Basis von Scrollexpandern, Sorptionsprozessen und binären Gemischen.

## Optimierung der Leistungsparameter von Standard-Solarspeichern

Der Auftraggeber dieses Drittmittelprojekts – ein brandenburgischer Speicherhersteller – verfolgt das Ziel, seine Produkte energieeffizienter zu gestalten. So soll den nationalen und EU-weiten Anforderungen zu Erhöhung der Gesamtenergieeffizienz Rechnung getragen werden. Schon einfache Änderungen an der Geometrie der Ein- und Auslaufrohre von Warmwasserspeichern können deren Leistung deutlich verbessern.



**Abbildung 5.2: Teilansicht des Speicherprüfstands**

In dem beschriebenen Projekt erfolgte die Optimierung der Leistungsparameter durch Strömungssimulationen und die Validierung der Ergebnisse durch messtechnische Untersuchungen an Prototypen. Zur Optimierung des Speicherentladevorgangs müssen diejenigen Strömungsvorgänge identifiziert werden, die bei der Speicherentladung zur Ausbildung von Mischungszonen führen. Zielstellung der Simulationsläufe war die Minimierung der Mischungsvorgänge. Als Bewertungsgrößen wurden die Mischwassermenge und der Entnahmewirkungsgrad verwendet. Beide Parameter bewerten die Speicherentladung qualitativ sowie quantitativ und sind anhand der simulierten oder messtechnisch ermittelten Entladekurven bestimmbar.

Alle Simulationsrechnungen erfolgten mit der Software StarCCM+. Der Vergleich unterschiedlicher Varianten zeigte, dass gegenüber der Referenzversion (Serienspeicher) beide Bewertungsgrößen um etwa 5 Prozent verbessert werden können. Nichtoptimale Speichereinlässe mit ungünstiger Kaltwassereinströmung kann andererseits die entnehmbare Mischwassermenge um bis zu 15 Prozent mindern. Als ein wichtiges Ergebnis des Projektes konnte nachgewiesen werden, dass schon geringste konstruktive Änderungen an den bestehenden Einlaufbauteilen – in der Serie ein gekantetes Blech als Prallplatte – zu einer signifikanten Verbesserung der untersuchten Leistungsparameter führen.

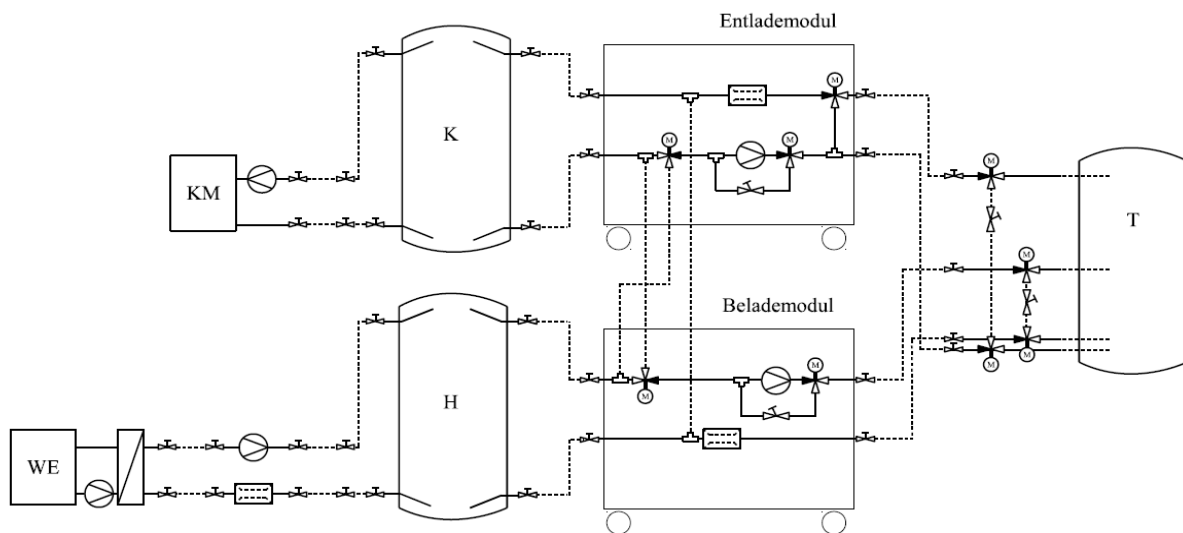
Die mit Hilfe der Strömungssimulationen optimierten Varianten wurden nachfolgend messtechnisch verifiziert. Dazu wurde eigens eine Testeinrichtung realisiert, die neben den o.g. Bewertungsgrößen auch die Leistungsparameter der Normenreihen DIN 4708 (u.a. Dauerleistung, NL-Zahl) und DIN EN 12977 ermittelt. Abb. 5.3 zeigt den Hydraulikplan des Prüfstands. Gegenüber bestehenden Prüfständen wurde erstmalig ein Konzept mit Pufferspei-

**Projektmitarbeiter**  
Pascal Leibbrandt, Thomas Schabbach, Kevin Weber

**Laufzeit**  
01/2010 – 12/2012

**Förderung**  
Industrie

chern für Heiß- und Kaltwasser umgesetzt, das zu erheblichen Kostenreduktionen führte. Die Testeinrichtung ist daher besonders geeignet für Werksprüfungen in Herstellerunternehmen.



**Abbildung 5.3: Hydraulikplan des Prüfstandes**

## Veröffentlichungen

Leibbrandt, P., Schabbach, T., Krsynowski, C.: Optimierung von Standard-Solarspeichern durch Strömungssimulation. 22. OTTI Symposium Thermische Solarenergie, Staffelstein (2012)

Leibbrandt, P.: Optimierung von Standard-Solarspeichern - Projektergebnisse. 23. OTTI Symposium Thermische Solarenergie, Bad Staffelstein (2013)

Leibbrandt, P.; Krsynowski, C.; Schabbach, T.: Optimierung von Standardsolarspeichern. HLH Lüftung/Klima - Heizung/Sanitär - Gebäudetechnik, Nr. 3/2013, S. 103-106 (2013)

Leibbrandt, P.; Schabbach, T.; Krsynowski, C.: Optimalisering van standaard zonneboilers. de onderneming - sanitair, verwarming, airconditinding, 4/2014, S. 26-34 (2014)



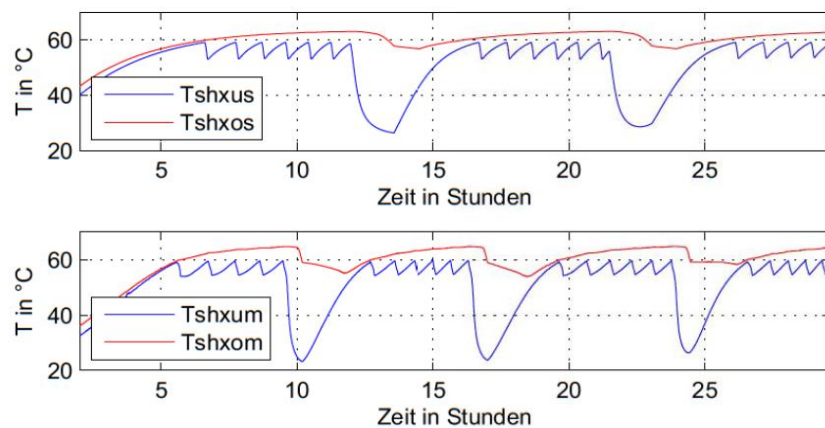
Projektmitarbeiter  
Pascal Leibbrandt, Daniel Rübesamen, Thomas Schabbach, Kevin Weber

Laufzeit  
12/2013 – 09/2014

Förderung  
Industrie, Innovationsgutschein des Landes Brandenburg

Der innerhalb des Projekts umgesetzte neue Ansatz verwendet zur Speicherbeladung einen Führungsspeicher mit internem Wärmeübertrager (hx-Speicher), der indirekt beladen und diskontinuierlich in die nachgeschalteten Pufferspeicher entladen wird (Abb. 5.4). Interne Rohrwendelwärmeübertrager sind sehr kostengünstig, schmutzunempfindlich und benötigen zudem keine Hilfsenergie.

Ziel dieser Untersuchung war die Optimierung der Umladeregulung. Dazu wurden Simulationsuntersuchungen vorgenommen und anhand realer Messdaten validiert (Abb. 5.5). Es wurde eine exergieeffiziente Anlagenschaltung mit einem kostengünstigen und schmutzunempfindlichen internen Rohrwendelwärmeübertrager konzipiert. Mit Hilfe der diskontinuierlichen indirekten Entladung des hx-Speichers konnte der Exergieverlust bei der Beladung auf Werte minimiert werden, die sonst nur bei Verwendung von Platten-Wärmeübertragern erreichbar sind.



**Abbildung 5.5: Temperaturen im hx-Speicher  
Simulation (oben) und Messung (unten)**

## Veröffentlichungen

Schabbach, T., Krszynowski, C., Leibbrandt, P., Rübesamen, D., Weber, K.: Optimierung der Beladung von Pufferspeichern in KWK-Anlagen mit Rohrwendelwärmeübertragern. 25. OTTI Symposium Thermische Solarenergie, Staffelstein (2015)

# Nur-Glas-Flachkollektor

## Entwicklung eines kostengünstigeren solaren Flachkollektorsystems auf Glasbasis

Im Rahmen des Forschungsprojektes soll ein Kollektor mit geringen Gestehungskosten entwickelt werden, der vorrangig aus Glas besteht (Abbildung 5.6). Aufgrund des vereinfachten Aufbaus sind kostenintensive Fertigungsschritte, wie z.B. das Absorber-Schweißen nicht notwendig und ermöglichen einen automatisierten Produktionsprozess. Die Produktionskosten können somit um ca. 20% gegenüber herkömmlichen Standard-Flachkollektoren gesenkt werden.

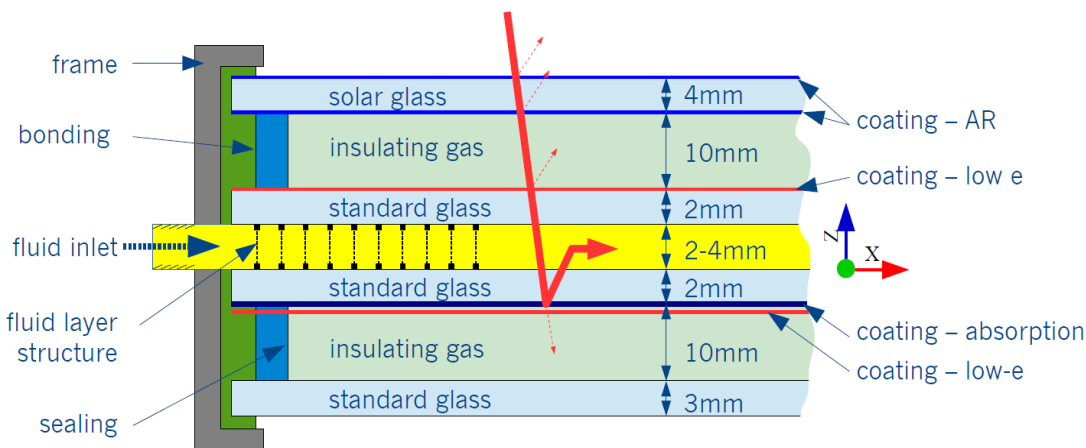


Abbildung 5.6: Aufbau des Nur-Glas-Kollektors

Ein weiterer Vorteil ist die angestrebte Bauhöhe von weniger als 50 mm, die eine vereinfachte Montage bzw. Anbindung ermöglicht und Einsatzbereiche im Fassadenbau erschließt.

Durch die thermische Modellierung und die strömungsmechanische Simulation des Kollektors sowie be-

gleitende messtechnische Untersuchungen sollen die definierten Ziele bezüglich Leistungsfähigkeit, Herstellungskosten und Stabilität vertiefend untersucht werden.

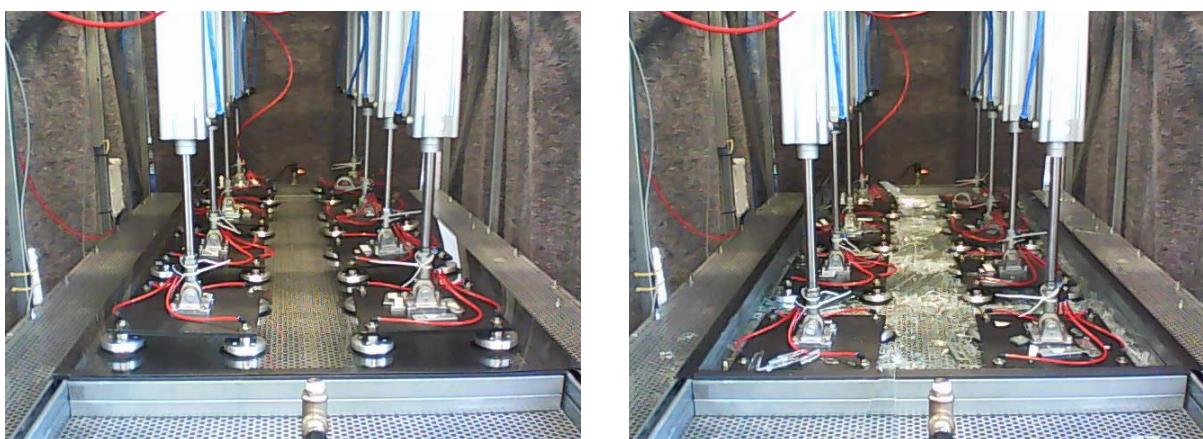


Abbildung 5.7: Strukturmechanische Belastungsanalyse einer Float-Glasscheibe bis zum Bruch

**Projektmitarbeiter**  
Michael Dölz, Martin Rhein, Pascal Leibbrandt, Thomas Schabbach

**Laufzeit**  
03/2015 - laufend

**Förderung**  
Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (0325557A)

Mit detaillierten CFD-Simulationen wird die konvektive Wärmeübertragung im Scheibenzwischenraum (Isoliergasschichten) untersucht. Die vorhandenen Lösungsansätze werden numerisch und experimentell an die realen Strömungsvorgänge im Nurglaskollektor angepasst und der konvektive Wärmeverluststrom so minimiert.

Bezüglich der eingesetzten Gläser werden die Glasstärken und -arten an die jeweiligen Anforderungen angepasst. So sind beispielsweise die zulässigen Spannungen und Durchbiegungen und die zulässige Dauerbelastbarkeit zu beachten (vgl. Abbildung 5.7). Mit FEM-Simulationen und begleitenden Experimenten werden Einzelscheiben, Isolierverglasungen und Kollektorprototypen untersucht.



**Abbildung 5.8: Quasidynamische Kollektorleistungsprüfung nach DIN EN ISO 9806**

Zur Bestimmung der Kollektorleistung wird ein Außen-Kollektorprüfstand nach dem QDT-Testverfahren realisiert (Abbildung 5.8). So können Funktionsmuster und Kollektorprototypen zeitnah und genau untersucht werden. Die Durchströmung des Kollektors wird zudem mit CFD-Simulationen optimiert und dann anhand von Fluidschichtprototypen unter realen Systembedingungen untersucht. Um den Kollektor erfolgreich auf dem Solarthermiemarkt etab-

lieren zu können, müssen ferner die Anforderungen aus der Praxis bzgl. Handhabung, Montage und Zuverlässigkeit berücksichtigt und erfüllt werden.

## Veröffentlichungen

Leibbrandt, P.: Fluid distribution and investigation of heat transfer on a new type of solar flat-plate collector. STAR Global Conference, Wien (2014)

Leibbrandt, P., Schabbach, T.; Weber, K.: Flachkollektoren aus Glas - erste Untersuchungsergebnisse. 24. OTTI Symposium Thermische Solarenergie, Bad Staffelstein (2014)

Leibbrandt, P., Schabbach, T.: Numerical Investigation on Heat Transfer, Fluid Distribution and Solid Stress to a new Type of Solar Flat Plate Collector. 10th ISES EuroSun, Aix-les-Bains (2014)

Dölz, M., Schabbach T., Leibbrandt P., Rhein, M.: Low-Cost-Kollektorprüfstand für quasidynamische Messungen im Hochtemperaturbereich. 26. OTTI Symposium Thermische Solarenergie, Bad Staffelstein (2016)

Leibbrandt, P., Schabbach, S., Dölz, M., Rhein, M.: CFD-Untersuchungen zu konvektiven Wärmeverlusten in Scheibenzwischenräumen mit großem Seitenverhältnis. 26. OTTI Symposium Thermische Solarenergie, Bad Staffelstein (2016)

Rhein, M., Schabbach, T., Leibbrandt, P., Dölz, M.: Strukturmechanische Untersuchungen zu mehrschichtigen Glasaufbauten. 26. Symposium Solarthermie, Bad Staffelstein (2016)

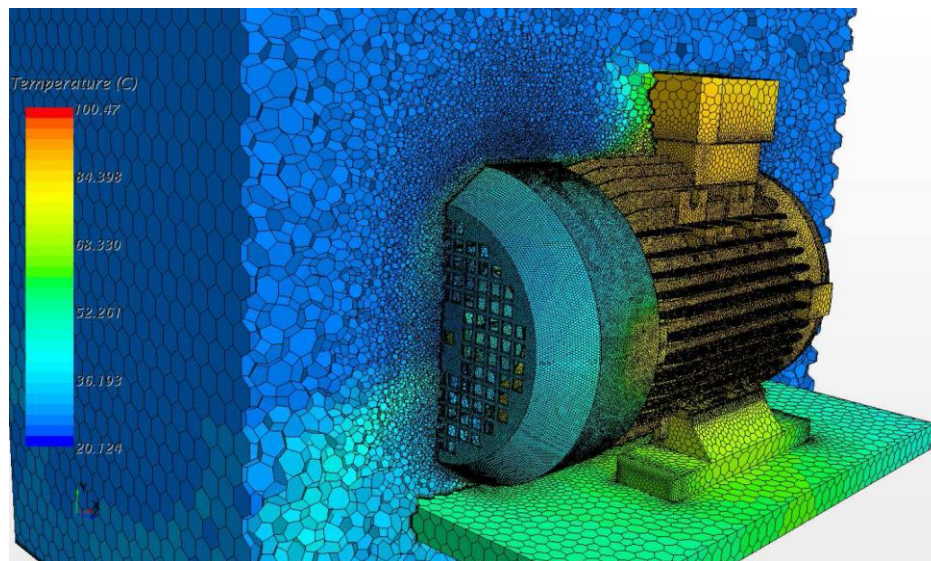
Leibbrandt, P.: Experimental and CFG investigations on full volumetric flow to a solar flat plate-glass collector. 11th ISES EuroSun Conference, Palma de Mallorca (2016)



## Thermische Optimierung elektrischer Maschinen

Die thermische Auslegung elektrischer Maschinen erfolgt häufig anhand von Faustformeln oder einfacher Modelle z.B. auf Basis von Stromdichten. Durch den Drang zu steigenden Wirkungsgraden und sinkenden Kosten spielt die thermische Auslegung elektrischer Maschinen inzwischen eine ebenso wichtige Rolle wie die elektromagnetische Dimensionierung.

Thermische Modelle von elektrischen Maschinen lassen sich prinzipiell in analytische und numerische Methoden unterteilen. Erstere werden auch als thermische Netzwerkrechnungen bezeichnet. Sie haben den Vorteil, dass sie wenig Rechenkapazität benötigen. Berechnungen lassen sich daher schnell durchführen. Die Hauptaufgabe bei der Bildung derartiger Netzwerke liegt in der Dimensionierung der Widerstände. Diese sind so zu wählen, dass das Temperaturverhalten innerhalb der Maschine gut abgebildet wird. Numerische Simulationen ermöglichen die Untersuchung beliebiger Geometrien. Der Rechenaufwand ist jedoch deutlich höher. Des Weiteren ist für die Erzeugung der Modelle wesentlich mehr Zeit einzuplanen.



**Abbildung 5.9: Numerische Simulation eines Niederspannungs-Asynchronmotors**

Das in.RET baut derzeit einen Forschungsschwerpunkt zur thermischen Modellierung elektrischer Maschinen auf. Dabei werden sowohl analytische als auch numerische Ansätze verfolgt. Kooperationspartner für die messtechnische Validierung der Modelle ist die Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB) in Braunschweig.

**Projektmitarbeiter**  
Christoph Schmidt, Stephan Scholz

**Laufzeit**  
10/2016 - laufend

**Förderung**  
Eigenforschung

## Qualifizierung und Tests von Photovoltaikmodulen

Das in.RET führt für regionale und überregionale Hersteller zahlreiche Tests an Photovoltaikmodulen durch. Neben Photovoltaik-Modultests bietet das in.RET auch kundenspezifische Tests für Systemintegratoren an.

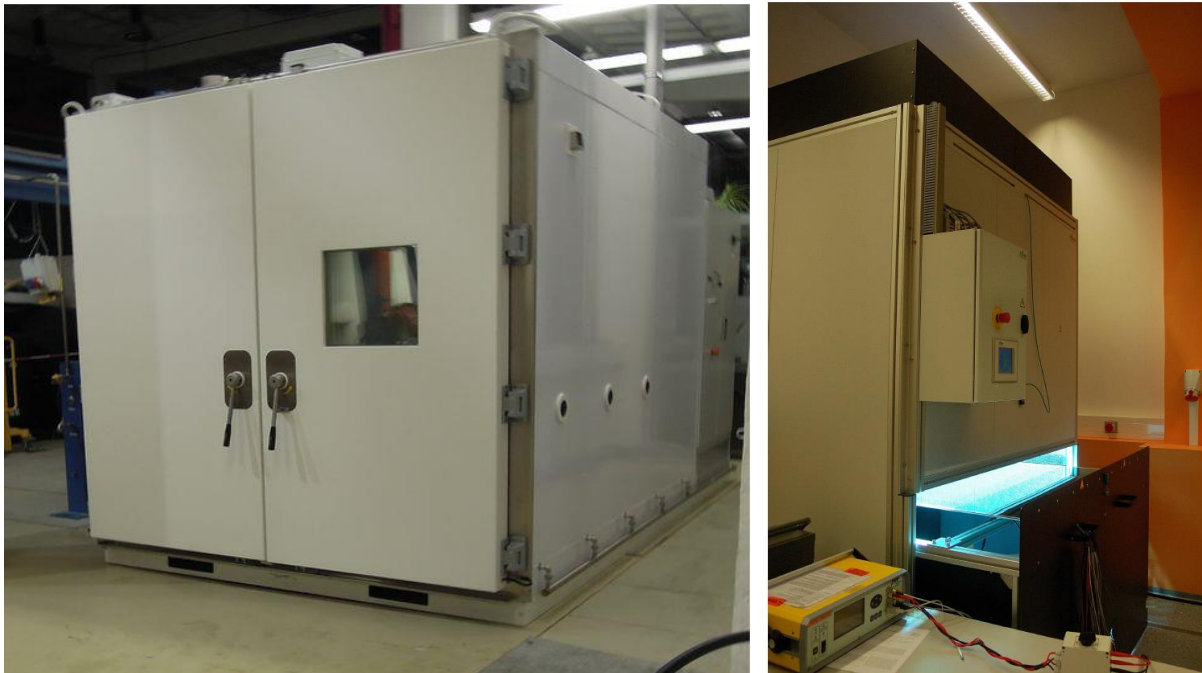


Abbildung 5.10: Klimakammer (links) und Sonnensimulator (rechts)

### Klimakammertests

In der Klimakammer (Temperaturbereich:  $-60\text{ °C}$  ...  $+100\text{ °C}$ ; rH: 0 % ... 95 %, UV-Bestrahlung: bis zu  $250\text{ W/m}^2$ ) können Module unter reproduzierbaren Bedingungen beschleunigten Alterungstests unterzogen werden, beispielsweise dem Bias-Damp-Heat-Test zur beschleunigten TCO-Korrosion und zur Untersuchung des PID-Effekts. Durch Anlegen einer Spannung von bis zu  $2000\text{ V}$  zwischen Frontglas und den kurzgeschlossenen Anschlussleitungen des Moduls wird ein negatives Potential aufgebaut. Im Zusammenspiel von hohen Temperaturen und einer hohen Luftfeuchtigkeit wird eine beschleunigte Diffusion von  $\text{Na}^+$ -Ionen aus dem Frontglas in die TCO-Schicht hervorgerufen.

### Sonnensimulator

Mit Hilfe eines Sonnensimulators können PV-Module mit einer konstanten Bestrahlung von  $200$  bis  $1200\text{ W/m}^2$  und einer einstellbaren Temperatur getestet werden. Das Spektrum der künstlichen Sonnenstrahlung entspricht dem Standardspektrum AM1,5, wobei der Sonnensim-

**Projektmitarbeiter**  
Sebastian Voswinkel

**Laufzeit**  
01/2009 - laufend

**Förderung**  
Industrie

mulator die Klassen BBA erfüllt. Der Sonnensimulator wird zur Durchführung von Hot-Spot-Tests und zur Untersuchung von Alterungseffekten eingesetzt. Ferner dient er zur Ermittlung der Strom-Spannungs-Kennlinie unter STC-Bedingungen, d.h. bei einer konstanten Einstrahlung von  $1000 \text{ W/m}^2$ , einer Zelltemperatur von  $25^\circ\text{C}$  und einem AM1,5 Spektrum. Für das Jahr 2017 ist zudem die Anschaffung eines LED-Sonnensimulators fest eingeplant. Die entsprechenden Mittel wurden im Programm "Großgeräte der Länder" durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) befürwortet und vom Freistaat Thüringen bewilligt. Der LED-Sonnensimulator ermöglicht zum einen das Flashen von Modulen und zum anderen auch einen temperaturstabilen Dauerlichtbetrieb.

### Hot-Spot-Tests

Während der langen Nutzungsdauer von 20 Jahren werden PV-Module aufgrund von Pflanzen, Gebäuden oder der Photovoltaikanlage selbst immer wieder vollständig oder partiell beschattet. Wird eine Zelle abgeschattet, so wird diese im Sperrbereich betrieben und es kann bei Überschreiten der Durchbruchspannung zur Zerstörung der Zelle kommen. Ferner können aufgrund der Abschattung lokale Temperaturerhöhungen, sogenannte Hot-Spots, auftreten. Durch Hot-Spots besteht die Gefahr der Delamination und der thermischen Überlastung der Zelle. Um der Zerstörung der Zelle entgegenzuwirken, müssen von Herstellern entsprechende Schutzmaßnahmen ergriffen werden.

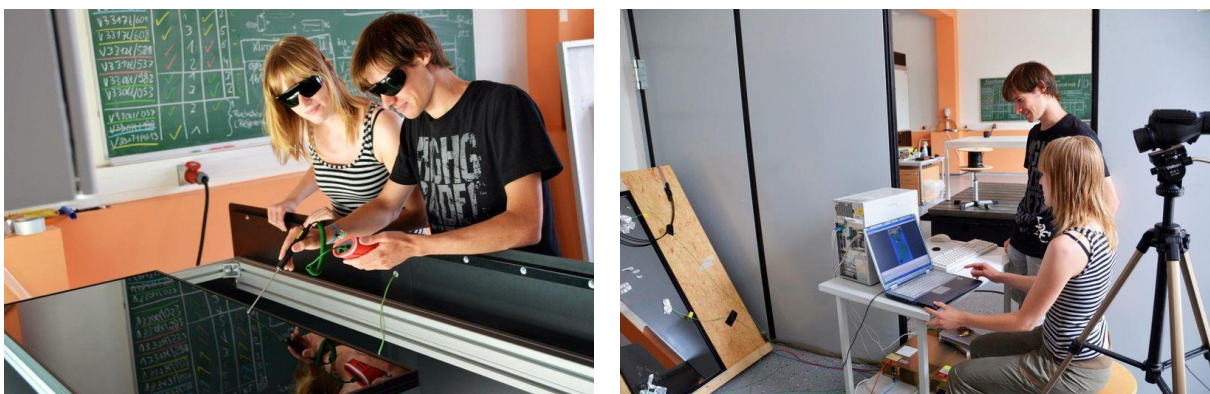


Abbildung 5.11: Temperaturmessung und Thermografieuntersuchung an CIGS-Modulen

Während der Tests im Sonnensimulator wird die Temperaturverteilung aufgenommen und analysiert. Daraus können fehlerhafte Kontaktstellen, fehlerhafte Zellen und Hot-Spots aufgespürt werden. Weiterhin wurden zur Bewertung der Modulleistung die Strom-Spannungskennlinien sowohl vor als auch nach den Hot-Spot-Tests ermittelt.

### Rückstromtests

Rückströme können bei der Parallelschaltung von mehreren in Reihe geschalteten PV-Modulen auftreten. In diesem Fall fließt der Strom in Durchlassrichtung und das PV-Modul arbeitet als elektrischer Verbraucher. Dadurch können je nach Stromstärke hohe thermische Belastungen auftreten, die zu Delamination und zur Zerstörung der Zellen führen können. Weiterhin kann aufgrund von mechanischen Spannungen, hervorgerufen durch Temperaturunterschiede im PV-Modul, das Glas brechen. Die auftretenden hohen Temperaturen und ggf. durch Glas- und Zellbrüche entstehenden Lichtbögen können zu Bränden führen. Daher ist das vornehmliche Ziel dieser Tests der Schutz von Mensch und Umwelt.

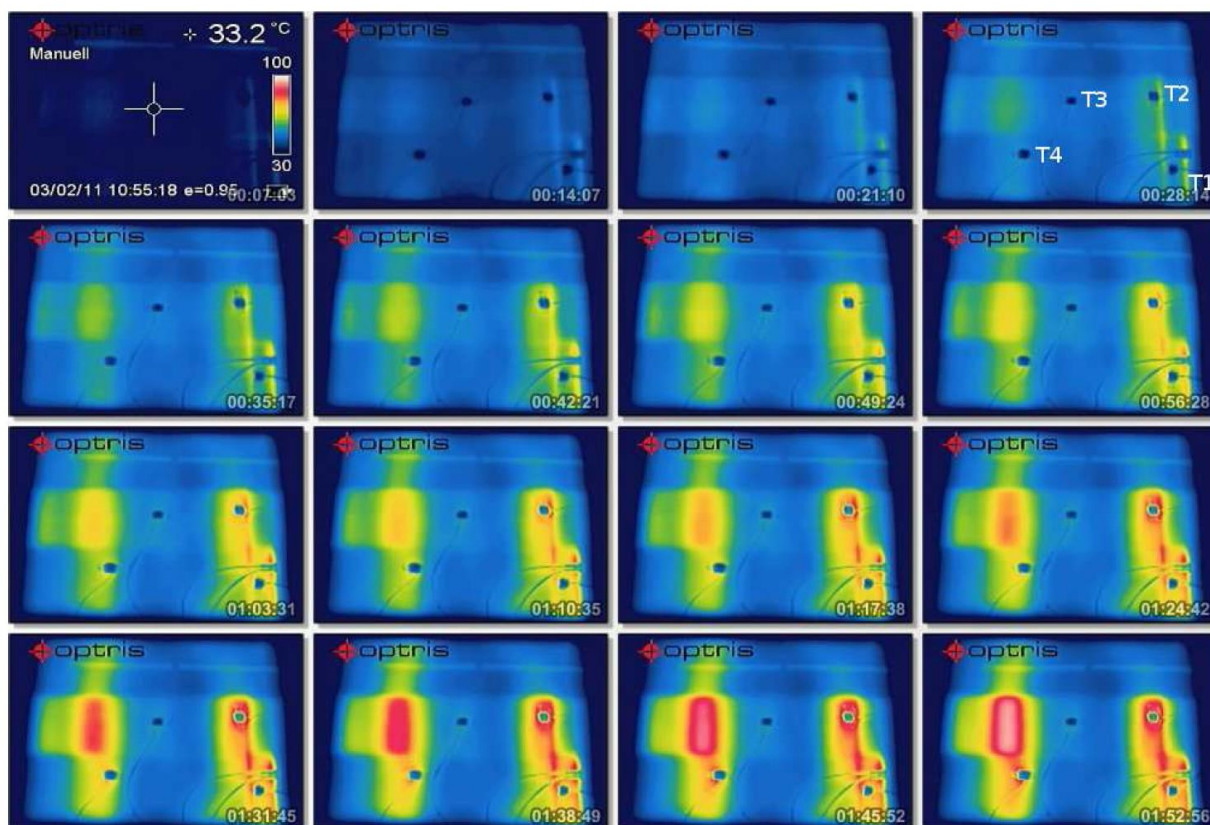


Abbildung 5.12: Thermografieaufnahme eines Rückstromtests

Um einen möglichst wirtschaftlichen Betrieb von PV-Anlagen zu gewährleisten, wird in Folge der Tests eine maximale Rückstrombelastbarkeit ermittelt, anhand deren eine maximale Strangsicherungszahl bestimmt werden kann. Das auftretende Temperaturprofil wird während der Testdauer mit einer Infrarotkamera aufgezeichnet und analysiert. Anhand der Auf-

nahmen können Rückschlüsse sowohl auf Fehler in der Kontaktierung der einzelnen Zellen als auch auf Fehler in den Zellen selbst geschlossen werden.

### Elektrolumineszenz

Durch die Absorption von Photonen wandeln Solarzellen Strahlungsenergie in elektrische Energie. Wird eine elektrische Spannung größer der Leerlaufspannung an eine Solarzelle oder ein Photovoltaikmodul angelegt, kehrt sich der Prozess der Absorption um. Im nahen Infrarotbereich emittieren die Solarzellen Photonen im nicht sichtbaren Bereich. Mit Hilfe spezieller Kameras können diese Emissionen aufgenommen werden. Anhand der Intensität der ausgesendeten Photonen können effiziente von ineffizienten Bereichen der Solarzelle lokalisiert sowie Mikrorisse und Zellbrüche erkannt werden. Elektrolumineszenzbilder sind insbesondere im Bereich beschleunigter Alterungstests zur Feststellung beginnender, optisch nicht wahrnehmbarer Degradationserscheinungen von großer Bedeutung. Dem Institut steht ein Messplatz zur Untersuchungen von Solarzellen und Photovoltaikmodulen zur Verfügung.

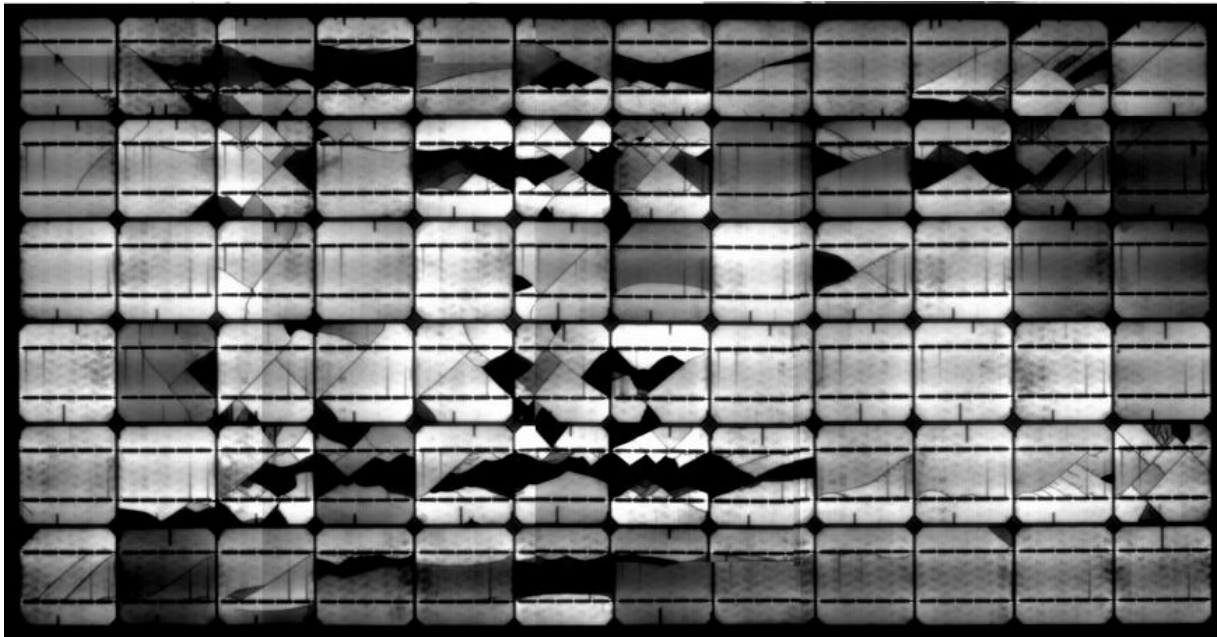


Abbildung 5.13: Elektrolumineszenzaufnahme eines geschädigten Solarmoduls

## Veröffentlichungen

Voswinkel, S., Wesselak, V., Lustermann, B.: Behaviour of amorphous silicon solar modules: A parameter study. Solar Energy, Solar Energy (92), S 206-213 (2013)

## Systembedingte Degradationsmechanismen von Dünnschichtphotovoltaikmodulen

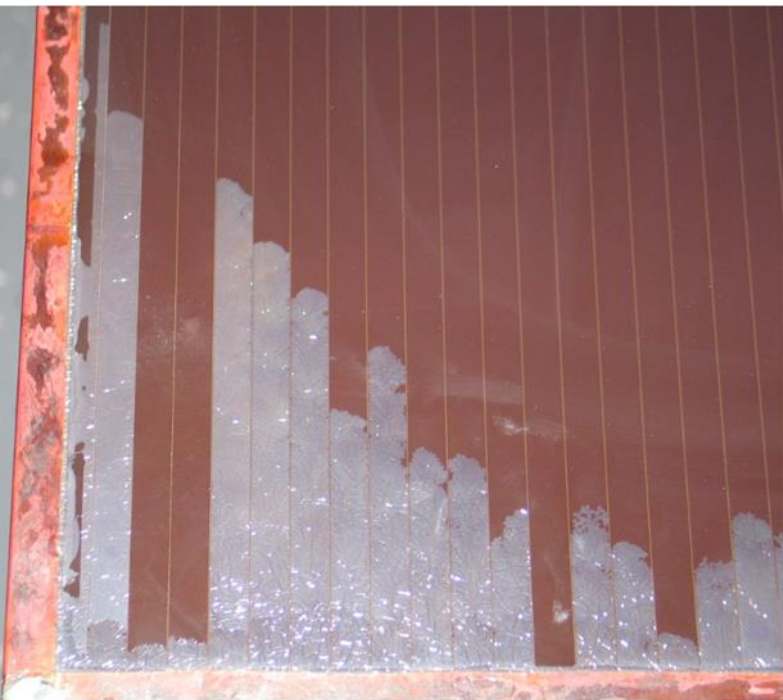


Abbildung 5.14: TCO-Korrosion an einem mikrokrystallinen Siliziummodul

ten Anlagenverschaltungen zu einer irreversiblen Degradation der stromführenden Schicht kommen, die für  $\mu$ -Si-Module als TCO-Korrosion (vgl. Abbildung 5.14) und bei CIGS-Modulen als PID-Effekt bezeichnet wird. Um neue Produktionsprozesse hinsichtlich ihrer Beständigkeit zu untersuchen, fehlten bisher geeignete Testverfahren, die insbesondere eine reproduzierbare und beschleunigte Alterung ermöglichen. Die Entwicklung solcher Testverfahren war Gegenstand dieses Projekts. Weiterhin wurden Simulationsmodelle erstellt, die es erlauben, das Schadenspotential vorauszusagen.

Ein Maß für den Fortschritt der Degradation ist die von Leckströmen transportierte Ladungsmenge. Abbildung 5.15 zeigt typische Leckstrompfade für ein CIGS-Modul.

Erneuerbare Energieanlagen wie Photovoltaikgeneratoren müssen eine Lebensdauer von mindestens 20 Jahren aufweisen, um wirtschaftlich betrieben werden zu können. Photovoltaikanlagen sind während dieser Zeit unterschiedlichen Einflüssen ausgesetzt. Vor allem Witterungseinflüsse belasten die Module und treiben Alterungsprozess voran. Aufgrund der Zusammensetzung der Module aus unterschiedlichsten Materialien kann es beispielsweise durch Feuchtigkeits- und Temperaturwechsel, Sonneneinstrahlung und dem Potential gegen Erde zu zahlreichen Reaktionen der eingesetzten Materialien untereinander kommen. Eine wichtige Rolle kommt dabei der potentialbedingten Wanderung von Natriumionen aus dem Frontglas in die Halbleiterschicht der Module zu.

Die Forschergruppe untersuchte Dünnschichtphotovoltaikmodule aus mikrokrystallinem Silizium ( $\mu$ -Si) und dem Verbindungshalbleiter CIGS. Hier kann es bei bestimmten

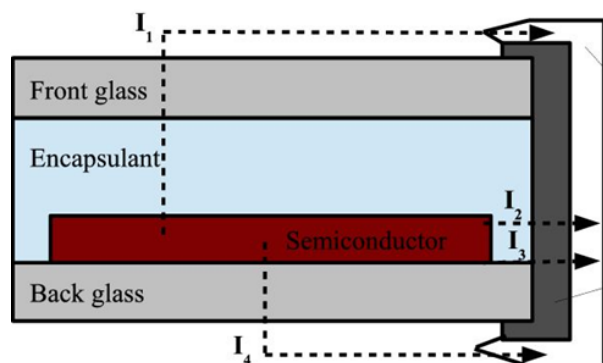


Abbildung 5.15: Leckstrompfade am Modul

Projektmitarbeiter  
Esther Fokuhl, Pia Manz, Christoph Schmidt, Benno Trautmann, Sebastian Voswinkel  
Viktor Wesselak



Land Thüringen mit Mitteln des Europäischen Sozialfonds (ESF)

Laufzeit  
01/2012 – 12/2014

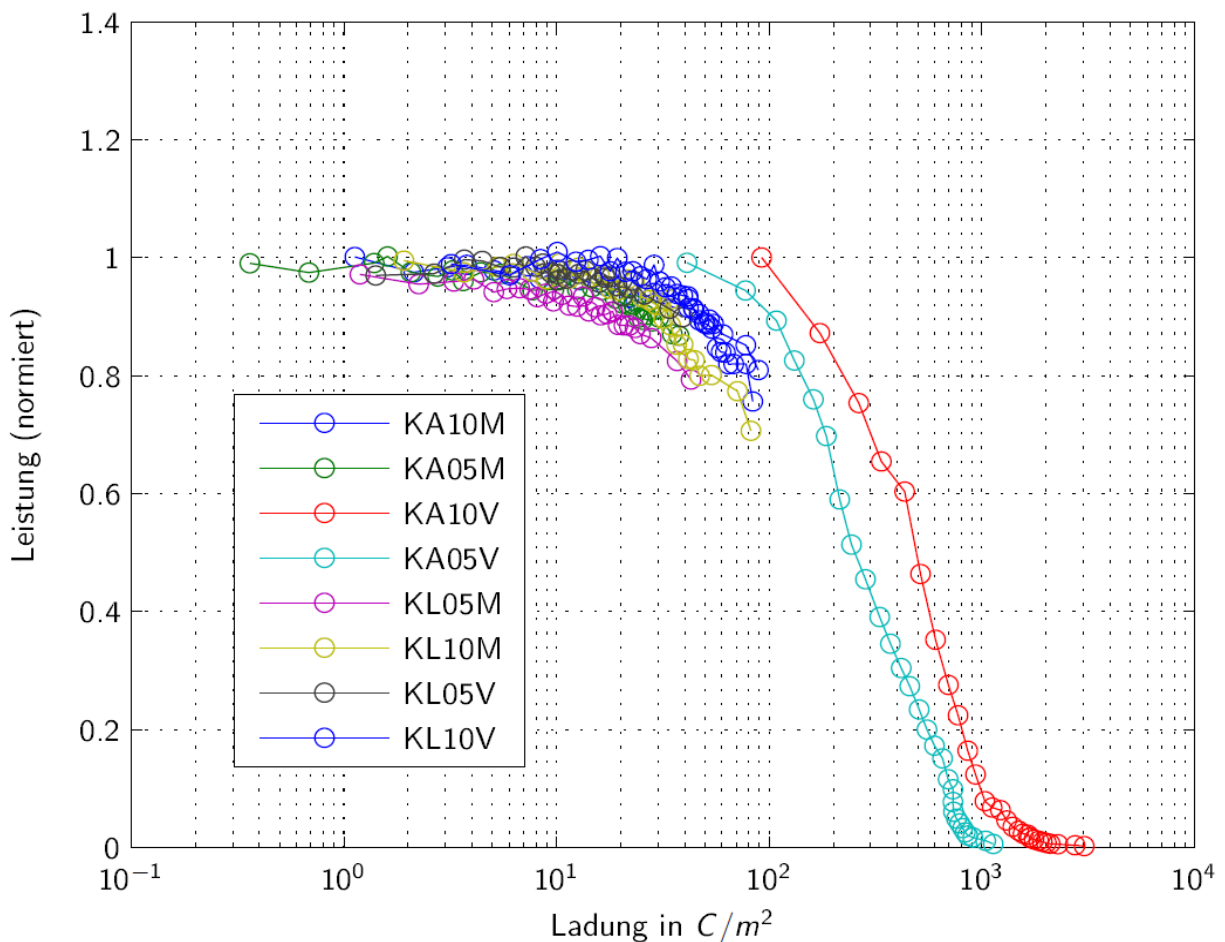
Förderung

Zur Ermittlung von Alterungsmodellen wurden in einer Klimakammer beschleunigte Alterungstests durchgeführt. In sogenannten Bias-Damp-Heat-Tests wurden die Module wechselnder Temperatur (0 ... 85 °C) und relativer Luftfeuchtigkeit (10 ... 95 %) unter Anwesenheit eines äußeren elektrischen Potentials ( $\pm 1000$  V) ausgesetzt. Gleichzeitig wurde am Institut ein Freifeld-Versuchsstand installiert, in welchem unterschiedliche Dünnschichtphotovoltaikmodule bei natürlicher Alterung getestet wurden (Abbildung 5.16). Der Einfluss der Umweltbedingungen, der angelegten Potentiale gegen Erde und die Art der Kontaktierung wur-



Abbildung 5.16: Freifeld-Teststand mit  $\mu$ -Si-Module (vorne) und CIGS-Modulen (hinten)

den dabei untersucht. In beiden Fällen wurden die auftretenden Leckströme kontinuierlich gemessen. Eine Korrelation von Klimakammertests und Freifeldversuchen ermöglicht eine Übertragung der Ergebnisse aus den beschleunigten Alterungstests auf den realen Anlagenbetrieb.



**Abbildung 5.17: Leistungsverluste unterschiedlicher CIGS-Module in Abhängigkeit von der transportierten Ladung**

Im Rahmen des Projekts wurde eine qualitative Reproduzierbarkeit der Ergebnisse zu systembedingter Degradation sowohl für die TCO-Korrosion als auch den PID-Effekt erreicht. Der postulierte Zusammenhang zwischen Degradationsrate und übertragener Ladungsmenge konnte verifiziert werden. Dieser ist jedoch nicht zwingend linear (Abbildung 5.17).

Die vielen unterschiedlichen Einflussfaktoren, zu denen unter anderem Modultechnologie, Kontaktierung, Betrag und Richtung des angelegten Potentials und die Umgebungsbedingungen gehören, erschweren quantitative Aussagen. Als wichtige Voraussetzungen für die Extrapolierbarkeit der Ergebnisse wurden die detaillierte Berücksichtigung des Modul-Mikroklimas und der Regenerationsmechanismen im Feld ermittelt.



## Veröffentlichungen

Manz, P., Schmidt, C., Voswinckel, S., Wesselak, V.: Outdoor Versuchsstand zur Ermittlung systembedingter Degradationsmechanismen bei Photovoltaikmodulen. XX. Energie-Symposium, Stralsund (2013)

Voswinckel, S., Manz, P., Schmidt, C., Wesselak, V., Fokuhl, E., Trautmann, B.: Analysis of Leakage Currents in Accordance of the Mounting Situation of Amorphous Silicon Solar Modules under Outdoor Climate Conditions. Proceedings of the 28th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Paris (2013)

Voswinckel, S., Manz, P., Schmidt, C., Wesselak, V., Fokuhl, E., Trautmann, B.: Investigation of leakage currents depending on the mounting situation in accordance to amorphous silicon modules. ISES Solar World Congress, Cancun (2013)

Fokuhl, E., Wesselak, V., Voswinckel, S., Manz, P., Schmidt, C.: Kennlinien-Simulation und Parameterbestimmung für systembedingt degradierte CIGS-Dünnschichtphotovoltaikmodule. XXI. Energie-Symposium, Stralsund (2014)

Voswinckel, S., Wesselak, V., Manz, P., Fokuhl, E., Trautmann, B., Schmidt, C.: Systembedingte Degradationsmechanismen von Dünnschichtphotovoltaikmodulen. XXI. Energie-Symposium, Stralsund (2014)

Manz, P., Wesselak, V., Voswinckel, S., Fokuhl, E., Trautmann, B., Schmidt, C.: Leakage current pathways and magnitudes in correlation of CIGS thin film modules. Proceedings of the 29th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Amsterdam (2014)

Schmidt, C.; Manz, P.; Voswinckel, S.; Wesselak, V.: Kontinuierliche Leistungs-messung am Freifeld-Teststand für systembedingte Degradationsmechanismen. 29. OTTI Symposium Photovoltaische Solarenergie. Bad Staffelstein (2014)

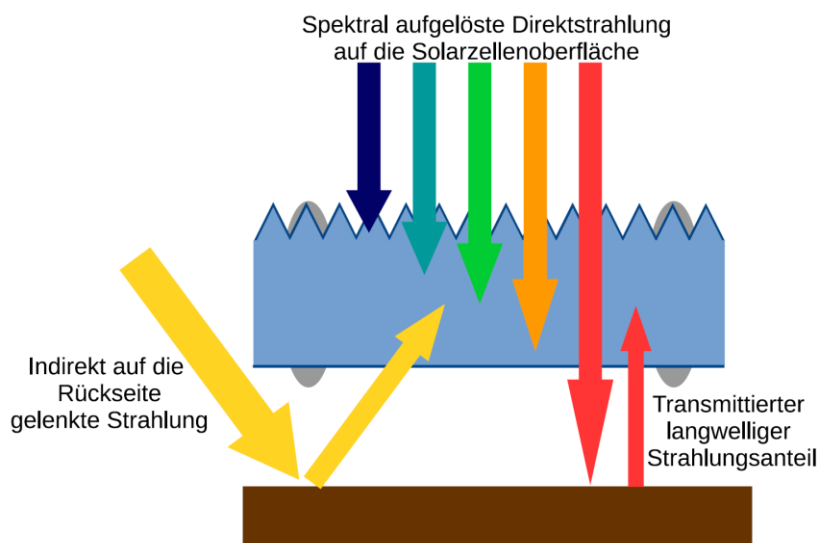
Trautmann, B., Wesselak, V., Manz, P., Voswinckel, S., Fokuhl, E., Schmidt, C.: Leakage currents behaviour of  $\mu\text{-Si}$  PV-modules regarding temperature and relative humidity. Proceedings of the 29th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Amsterdam (2014)

Voswinckel, S., Wesselak, V., Fokuhl, E., Schmidt, C., Watzlawik, K.: Dos and Don'ts of Leakage Current Measurement. Proceedings of the 30th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Hamburg (2015)

Fokuhl, E., Wesselak, V., Voswinckel, S., Manz, P., Trautmann, B., Schmidt, C.: Investigation of the Micro-Climate of microcrystalline Silicon-Modules and CIGS-Modules and its Impact on Potential-Induced Degradation. Proceedings of the 30th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Hamburg (2015)

## Forscherguppe Bifacial - Monofacial: Steigerung der Energieausbeute von Silizium-PV-Modulen

Im Gegensatz zu monofacialen Standardsolarzellen können bifaciale Solarzellen Licht sowohl auf der Vorder- als auch auf der Rückseite absorbieren und zur Ladungsträgergeneration nutzen. Dadurch soll der Energieertrag zwischen 30 und 50 Prozent gesteigert werden. Die Steigerung des Energieertrags ist dabei maßgeblich von der Ausrichtung der Module sowie den reflexiven Eigenschaften des Untergrundes abhängig. Entsprechende Produkte stehen kurz vor der Markteinführung.



**Abb. 5.18: Lichteinfall auf eine bifaciale Solarzelle**

(keine vollflächige Kontaktierung der Solarzellenrückseite, transparente Rückseitenverkapselung) existieren noch keine verlässlichen Daten zum Alterungsverhalten. Auch Degradationserscheinungen wie spannungsinduzierte Degradation (PID) stellen diese Modultechnologie vor Herausforderungen. Wirkt der PID-Effekt bei Standardsolarzellen lediglich auf Solarzellenvorderseite, tritt bei bifacialen Solarzellen dieser Effekt zusätzlich auf der Solarzellenrückseite in Erscheinung.

Ziel dieser Forschergruppe ist es, theoretische Modelle für die Bewertung und Standards für die Charakterisierung von bifacialen Photovoltaikzellen und -modulen zu entwickeln. Bifaciale Solarmodule nutzen sowohl das auf die Modulvorderseite als auch das auf die Modulrückseite einfallende Licht. Da Vorder- und Rückseite unterschiedlich bestrahlt werden und sich die betrachtete Fläche verdoppelt treten hier zwangsläufig Fragestellungen hinsichtlich des Hot-Spot-Verhaltens bei inhomogener Bestrahlung auf. Hinsichtlich der Stabilität der Module müssen Alterungsaspekte ebenfalls für die Modulrückseite in Betracht gezogen werden. Die Erarbeitung von Methoden für ein realitätsnahes Energierating mit Bezug auf die Modulle-

Die Leistung von Photovoltaikmodulen wird gem. DIN EN 61215 bei Standardtestbedingungen ( $1000 \text{ W/m}^2$ ,  $25 \text{ }^\circ\text{C}$ , AM1,5) angegeben. Dabei wird lediglich die Strahlungsintensität auf die Modulvorderseite definiert. Die Bestimmung der Modulleistung durch die Summe aus den Einzelleistungen von Modulvorder- und Modulrückseite ist nicht geeignet, da auf die Modulrückseite i.d.R. eine deutlich geringere Einstrahlung wirkt. Standards für die Bewertung von bifacialen Solarmodulen mit transparenter Rückseite existieren nicht.

Weitere Problemfelder betreffen das Alterungs- und Degradationsverhalten. Aufgrund des veränderten Modulaufbaus

## Projektmitarbeiter

Sven Münter, Christoph Schmidt, Sebastian Voswinckel, Viktor Wesselak



## Laufzeit

04/2016 – 12/2018

## Förderung

Europäische Union (ESF) und Freistaat Thüringen

Lebensdauer ermöglicht es zum einen Optimierungspotenzial in die Entwicklung, das Design und den Herstellungsprozess von bifacialen Solarmodulen einfließen zu lassen. Zum anderen ermöglichen die entwickelten Verfahren eine optimierte Anlagenauslegung und einen effizienten Betrieb von PV-Anlagen.

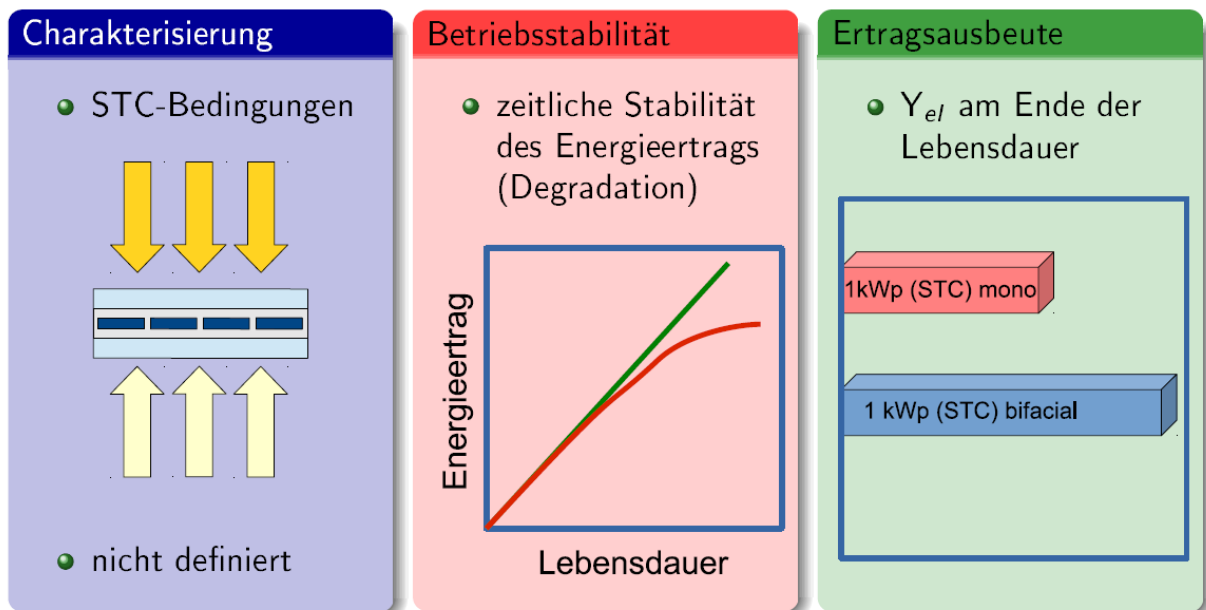


Abbildung 5.19: Problemfelder der Forschergruppe

Die Arbeiten werden in Kooperation mit dem Leibniz-Institut für Photonische Technologien in Jena und der TU Ilmenau durchgeführt.

## Veröffentlichungen

Voswinckel, S.: Charakterisierung von bifacialen PV-Modulen. XXIII. Energie-Symposium, Stralsund (2016)

## Energetische Nutzung von biogenen Reststoffen am Beispiel von Pferdemist- Pellets

Als regenerativer Energieträger spielt die Biomasse eine zentrale Rolle im bundesdeutschen Wärmemarkt. Traditionell steht die Verwendung von Holz als Energieträger im Mittelpunkt, wobei die wirtschaftlich verfügbaren Potenziale begrenzt sind. Dem entsprechend findet die energetische Nutzung von Reststoffen verstärktes Interesse. Insbesondere in der Landwirtschaft fallen zum Teil große Mengen unterschiedlicher Reststoffe an, die heute nicht oder nur geringfügig genutzt werden. Allerdings unterscheiden sich diese Reststoffe hinsichtlich ihrer chemisch physikalischen Eigenschaften und damit ihres Verbrennungs- und Emissionsverhaltens zum Teil deutlich von den üblichen Holzbrennstoffen.



**Abbildung 5.20: Pelletkessel mit Abgasmessstrecke**

wurde, welches der Projektpartner entwickelt hat. Das getrocknete Ausgangsmaterial wurde zunächst pelletiert, um auf diese Weise homogene und ggf. standardisierbare Brennstoffe zu erzeugen. Die Pellets wurden anschließend in einem 30 kW Biomassekessel verbrannt und die dabei entstehenden Staub- und Schadstoffemissionen gemessen (vgl. Abbildung 5.20). Die chemisch-physikalischen Eigenschaften der Pellets wurden mit den Vorgaben der einschlägigen EU-Norm verglichen, die entstandenen Emissionen den Grenzwerten der 1. BImSchV gegenübergestellt und eine Analyse der Asche durchgeführt.

Die Frage, inwieweit solche Reststoffe als Energieträger in Frage kommen, ist daher von großer Bedeutung. Im Rahmen eines Forschungsprojektes, welches das Institut für Regenerative Energietechnik (in.RET) in Kooperation mit der M.A.M. Energietechnik GmbH aus Suhl durchgeführt hat, wurde dieser Frage nachgegangen.

Im Anbetracht eines wachsenden Entsorgungszwangs für pferdehaltende Betriebe stand die Nutzung von Pferdemist im Mittelpunkt des Vorhabens. Das Material musste zunächst getrocknet werden, wozu ein innovatives Niedertemperaturtrocknungsverfahren verwendet

**Projektmitarbeiter**  
Joachim Fischer, Daniel Rübesamen

**Laufzeit**  
01/2014 – 12/2014

**Förderung**  
Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe

Im Ergebnis konnte gezeigt werden, dass durch die Pelletierung der Rohstoffe ein Brennstoff entsteht, der den Vorgaben der EU-Norm weitgehend entspricht und eine Nutzung landwirtschaftlicher Reststoffe in Kleinanlagen möglich ist. Die während der Verbrennungsversuche ermittelten CO- und NO<sub>x</sub>-Emissionen zeigten, dass eine vollständige Verbrennung derartiger Reststoffpellets machbar ist. Etwas problematischer sind die Staubemissionen und Aschegehalte, welche gegenüber einer Verbrennung reiner Holzpellets deutlich ansteigen. Ansätze zur Optimierung dieser Brennstoffe sollen in weiteren Forschungsarbeiten untersucht werden.



**Abbildung 5.21: Pferdemitpellets**

## Veröffentlichungen

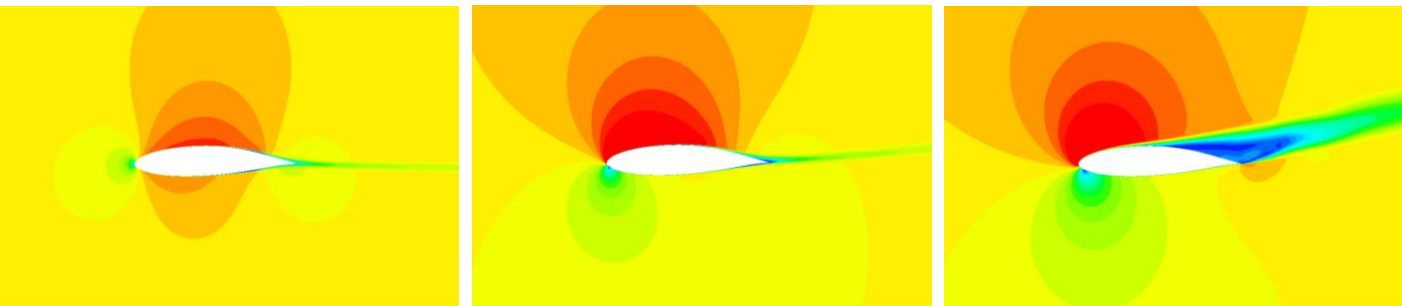
Fischer, J., Rübesamen, D.: Energetische Nutzung von biogenen Reststoffen – Untersuchung der Aufbereitung und Verbrennungseigenschaften am Beispiel von Pferdemit-Pellets. 9. Rostocker Bioenergieforum, Rostock (2015)

## Entwicklung eines innovativen Rotorblattes für Windkraftanlagen kleiner und mittlerer Leistung

Die in diesem Projekt erfolgte Rotorblattentwicklung konzentrierte sich auf die Verbesserung der aerodynamischen Eigenschaften bei gleichzeitig minimalen Abmessungen, um die Materialkosten niedrig halten zu können. Da Kleinwindkraftanlagen meist höhere leistungsspezifische Installationskosten mit sich bringen als Großanlagen und diese höheren Kosten bisher nicht wie im Falle der Photovoltaik durch eine entsprechende Einspeisevergütung aufgefangen werden, ist der Kostendruck während der Rotorblattentwicklung von großer Relevanz, insbesondere da die Fertigung des neuen Rotorblattes in Deutschland erfolgen soll.

Eine weitere Herausforderung dieses Projektes lag in der geplanten Herstellungstechnik, dem sogenannten Vakuum-Injektionsverfahren. Dieses Verfahren ermöglicht einen höheren Fasergehalt im Faser-Kunststoff-Verbund als z.B. das Handlaminierverfahren und verkürzt die Fertigungszeiten, da der Anteil an Handarbeit reduziert wird. Zusätzlich kann das Rotorblatt mit einem integrierten Blitzschutz ausgestattet werden, welcher bei vielen Kleinwindkraftanlagen nicht vorhanden ist.

Für den aerodynamischen Entwurf des neuen Rotorblattes wurden die strömungstechnischen Eigenschaften einzelner Rotorblattprofile und des gesamten Rotors mit Methoden der numerischen Strömungssimulation (Computational Fluid Dynamics, CFD) untersucht. Abbildung 5.22 zeigt beispielsweise die numerisch berechnete Geschwindigkeitsverteilung in der Strömung um ein Rotorblattprofil bei verschiedenen Anstellwinkeln.



**Abbildung 5.22: Geschwindigkeitsverteilung um ein Rotorblattprofil bei den Anstellwinkeln  $0^\circ/8^\circ/16^\circ$  (Farbskala: 0...10 m/s, Turbulenzmodell: SST transitional, Reynolds-Zahl:  $5e+5$ )**

Ausgangspunkt des Entwicklungsprozesses war ein Rotorblatt, welches von einem der Projektpartner für eine vierblättrige Windkraftanlage im Nennleistungsbereich von 20 kW konstruiert wurde. Dieses Original-Rotorblatt mit einer Länge von 4 m ist in Abbildung 5.23 (oben) dargestellt. Dieselbe Abbildung illustriert anhand ausgewählter Entwürfe den Verlauf der Rotorblattentwicklung (chronologisch von oben nach unten). Das unterste Modell zeigt den Prototypen mit einer Länge von 3,1 m.

**Projektmitarbeiter**  
Jutta Carow, Thomas Link

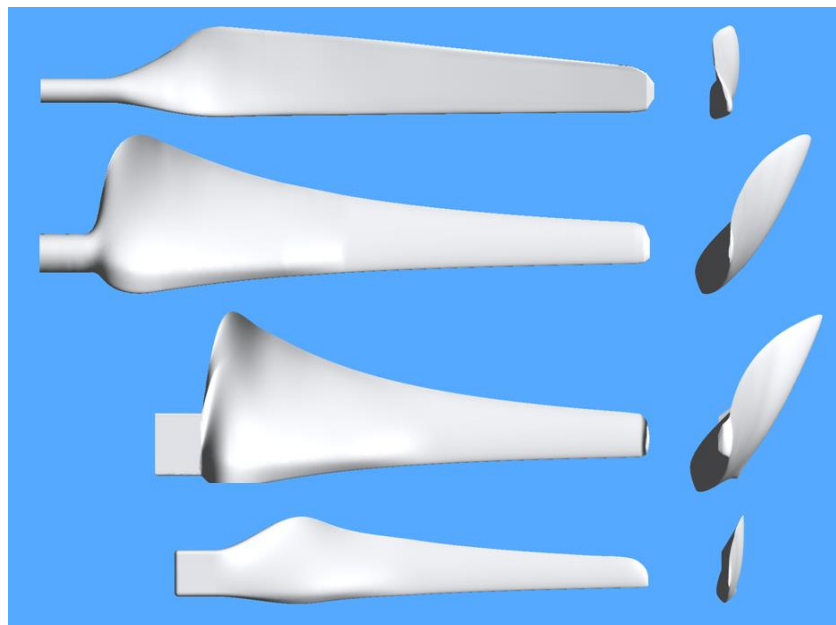
**Laufzeit**  
07/2011 – 05/2013

**Förderung**  
Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (ZIM)



Die neue Gesamtanlage wird mit drei Blättern ausgestattet, welche auf einer Flachnabe angeordnet werden und so einen Rotordurchmesser von 6,4 m ergeben. In dieser Konfiguration

soll der neue Rotor auf einem bereits bestehenden Turm-Gondel-System mit geeignetem Generator im Feld getestet werden, um die Messwerte mit den numerischen Simulationsergebnissen vergleichen zu können. Nach Abschluss der Feldtests ist seitens des Industriepartners vorgesehen, ein weiteres Rotorblatt mit weitgehend identischen aerodynamischen Eigenschaften für einen Rotordurchmesser von 10 m zu konstruieren, welches schließlich in Serie gefertigt werden soll. Mit diesem Durchmesser liegt die Nennleistung der Kleinwindkraftanlage in der angestrebten 20 kW-Leistungsklasse, für die laut Erfahrung der Projektpartner – den Firmen Richter Feinwerktechnik aus Schmalkalden und CE-LAB aus Ilmenau – eine entsprechende Nachfrage besteht.



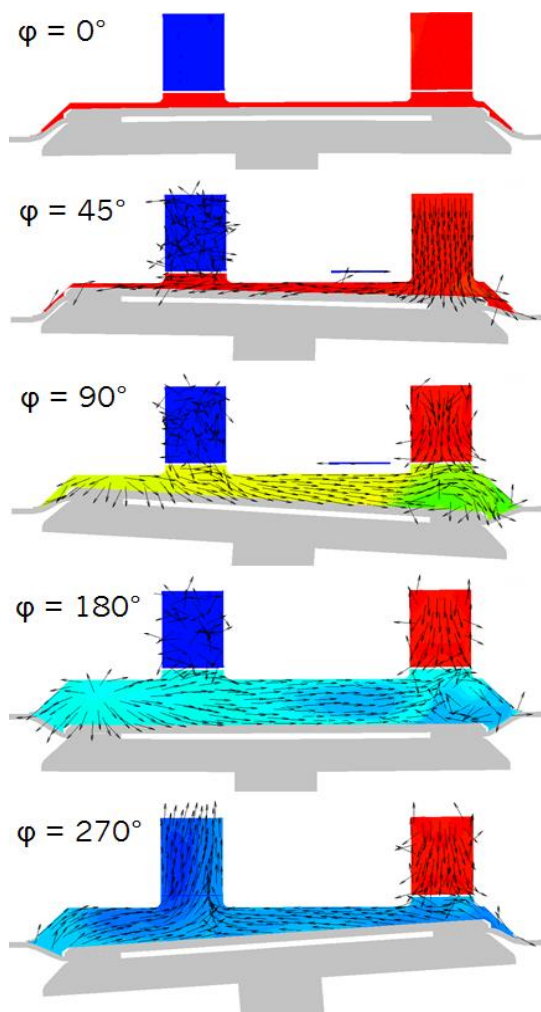
**Abbildung 5.23: Rotorblattentwicklung am Beispiel ausgewählter 3D-Modelle, chronologisch von oben nach unten geordnet**

## Veröffentlichungen

Link, T.: Entwicklung eines Rotorblattes für Windkraftanlagen mit kleiner bis mittlerer Leistung. LeiFaK-Abschlussveranstaltung, Schmalkalden (2012)

## Entwicklung einer Membranmotor-Klein-ORC-Anlage im Leistungsbereich bis 150 kW (thermisch) und 15 kW (elektrisch)

In einem Organic-Rankine-Cycle-Prozess (ORC-Prozess) wird wie in einem Dampfkraftwerk thermische in mechanische Energie umgewandelt. Durch den Einsatz von anderen Fluiden als Wasser im Kreislauf kann der Prozess mit niedrigeren Temperaturen betrieben werden und so bei der Wärmerückgewinnung von Niedertemperatur-Abwärme (ab 80°C) eingesetzt werden.



**Abbildung 5.24: Position von Pleuelkopf und Membran des Membranexpanders mit Vektordarstellung der Strömungsgeschwindigkeit des Arbeitsgases für unterschiedliche Wellenwinkel  $\varphi$ .**

Ziel des Forschungsverbundprojekts war die Entwicklung einer Klein-ORC-Anlage als Nachrüstmodul für Biogasanlagen. Dadurch können bisher ohne Wärmenutzungskonzept betriebene Biogasanlagen auch die Anforderungen an das EEG 2012 erfüllen, welches eine Nutzung der Abwärme auch durch ORC-Anlagen als Voraussetzung für die weitere Förderfähigkeit vorsieht. Für die Klein-ORC-Anlage wurde der Prototyp eines Gasdruckmembranmotors entwickelt, der als Expandermaschine eingesetzt werden kann. Seine geringeren Kosten machen die Gesamtanlage günstiger und verkürzen den Return-of-Invest.

Die wesentlichen Aufgaben im Verbundprojekt waren die numerische Simulation des Membranmotors, die Auslegung, Anpassung und Optimierung des ORC-Prozesses, die wissenschaftliche Begleitung der Ergebnisse der Projektpartner sowie eine abschließende Bewertung der errichteten ORC-Anlage.

In der numerischen Simulation kam eine 2-Wege-Fluid-Struktur-Interaktion (FSI) und eine reine Strömungssimulation (CFD) zum Einsatz. Bei der FSI-Simulation wurden die Bewegungen der Festkörperkomponenten wie Welle, Pleuelstange und Membran sowie die Fluidströmung und deren Zusammenwirken berechnet. Für die Untersuchung verschiedener Auslegungsvarianten zeigte sich eine reine CFD-Simulation, die schneller adäquate Ergebnisse liefern konnte, als ausreichend. Durch die Versuche an einem



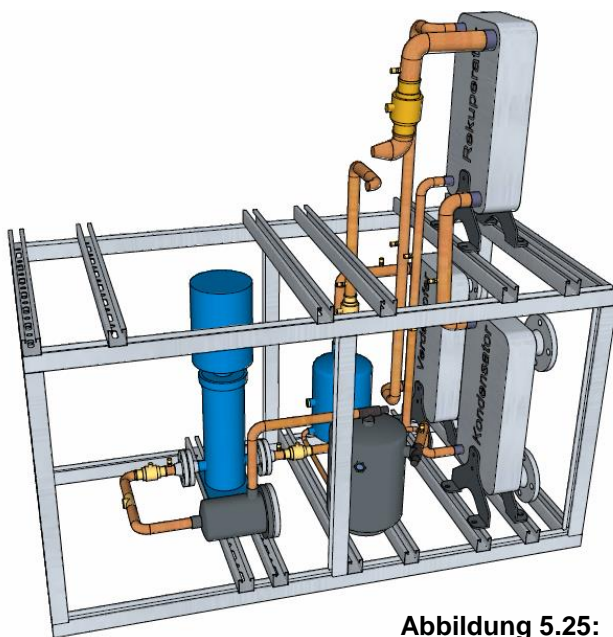


Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (VP2119906CL2)

**Projektmitarbeiter**  
Jutta Carow, Thomas Link, Rio Rathje

**Laufzeit**  
03/2013 – 10/2015

**Förderung**



**Abbildung 5.25:**  
**Rohrleitungsplan der ORC-Anlage**

Funktionsmuster im Labor und die Auswertung der Messergebnisse mithilfe der Simulationen wurden die wesentlichen Konstruktionsparameter festgelegt, die dann von den Projektpartnern übernommen wurden.

Auf Grundlage der Prozessauslegung des Instituts wurde die projektierte ORC-Anlage durch die Projektpartner errichtet. Abweichend vom ursprünglich geplanten Aufstellungsort an einem Biogas-BHKW ist die ORC-Anlage an der Hochschule Nordhausen installiert worden, da hier eine bessere Überwachung der Testläufe möglich ist. Zu diesem Zweck wurde zusätzlich eine elektrische Thermoölanlage an der Hochschule Nordhausen aufgebaut. Aufbauend auf dem bestehenden Prüfstand soll in einem Folgeprojekt der Membranmotor durch einen Kunststoff-

Scrollexpander ersetzt werden. Projektpartner waren die Firmen Galek & Kowald (Mühlhausen), Hörisch-Präzision (Apolda) und die Gesellschaft für Fertigungstechnik und Entwicklung (Schmalkalden).

## Veröffentlichungen

Carow, J.R., Link, T.: Gas Flow through a Diaphragm Expander: Fluid-Structure Interaction in ANSYS CFX. ANSYS Conference & 32nd CADFEM Users' Meeting 2014, Nürnberg (2014)

Carow, J.R.: Untersuchung der Strömung durch einen Membranmotor in ANSYS CFX mit Fluid-Struktur Interaktion. 9. Thüringer ANSYS Hochschultag, Ilmenau (2014)

Carow, J.R.; Link, T.; Rathje, R.M.: Numerical and Experimental Performance Study on a Diaphragm Expander for Application in Small Scale Organic Rankine Cycles. EUBCE 2015 - 23rd European Biomass Conference & Exhibition, Wien (2015)

## Untersuchungen zur effizienten und emissionsfreien Verbrennung von Wasserstoff und Sauerstoff in stationären Verbrennungsmotoren

Die Energiewende in Deutschland führt aufgrund der steigenden Anteile volatiler Einspeisung zu einem steigenden Bedarf an Stromspeichern und Regelenergiekraftwerken. Bei der mittelfristig notwendigen Langzeitspeicherung von Strom ist in Deutschland die elektrolytische Produktion von Wasserstoff aus Wasser (Power-to-Gas) und die anschließende Rückverstromung eine der vielversprechendsten Optionen.

Diese Rückumwandlung von Wasserstoff kann prinzipiell mit Brennstoffzellen, Gasturbinen oder Verbrennungsmotoren geschehen, wobei ein aktueller Kostenvergleich zeigt, dass Verbrennungsmotoren im mittleren Leistungsbereich derzeit eine kostengünstige und technologisch etablierte Möglichkeit der Rückverstromung darstellen. Da Brennstoffzellen zur Rückumwandlung von Wasserstoff in elektrische Energie noch Entwicklungspotential in Bezug auf Lebensdauer, Kosten und Zuverlässigkeit aufweisen, bietet es sich an, die bereits fortgeschrittene Technologie im Bereich der Verbrennungsmotoren für eine stationäre Anwendung in Blockheizkraftwerken zu nutzen.

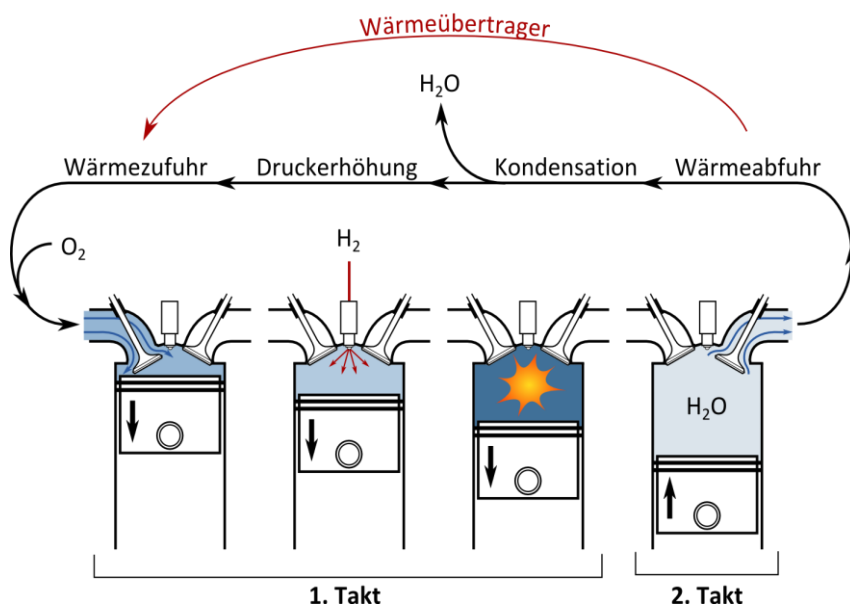


Abbildung 5.26: Prinzip des kombinierten 2-Takt-Prozesses

Bisher konzentrierte sich die Forschung und Anwendung mehrheitlich auf Wasserstoff-Verbrennungsmotoren, die mit Umgebungsluft betrieben werden. Da atmosphärische Luft Stickstoff enthält, emittieren solche Motoren vor allem in wirkungsgradgünstigen Betriebspunkten toxische und umweltschädliche Stickoxide. Ein entworfener kombinierter Verbrennungs- und Dampfprozess für einen stationären Verbrennungsmotor ermöglicht die Rückverstromung ohne diese sonst bei Wasserstoffmotoren üblicherweise auftretenden Stickoxide. Der Prozess basiert auf der Verbrennung von Wasserstoff mit reinem Sauerstoff, welcher bei der Elektrolyse anfällt, und ermöglicht Wirkungsgrade und Leistungsdichten oberhalb derer üblicher Wasserstoffmotoren mit Direkteinspritzung. Bei der stöchiometrischen Verbrennung entsteht lediglich Wasserdampf, der als Inertgas zur Steuerung der Verbrennungstemperatur und damit zur Einhaltung der Materialgrenzwerte und Vermeidung von klopfender Verbrennung eingesetzt werden kann. Eine thermodynamische Modellierung des Prozesses

**Projektmitarbeiter**  
Johannes Haller, Thomas Link

**Laufzeit**  
01/2013 - laufend

**Förderung**  
Eigenforschung

als Vergleichsprozess liefert bei semiempirischer Berücksichtigung von Wandwärme- und Reibungsverlusten einen maximalen effektiven Wirkungsgrad zwischen 50 und 60 Prozent im Vergleich zu maximal 45 Prozent in ausgeführten Wasserstoffmotoren.

Neben thermodynamischen Modellen kommen bei der Untersuchung in dem Promotionsprojekt auch numerische Methoden in Form von 3-D-CFD-Simulationen zum Einsatz, um die Einflüsse von Geometrie, Steuerzeiten, Gemischbildungsstrategie und Zündzeitpunkt zu untersuchen und zu optimieren. Die CFD-Berechnungen sollen die Entwicklung von der Konzept- in die Konstruktionsphase überführen und durch Ableitung von Konstruktionsdaten und Prozessparametern den Aufbau eines Prototypenprüfstands vorbereiten.

## Veröffentlichungen

Haller, J., Link, T.: Numerische Simulation der Gemischbildung und Verbrennung in einem stationären  $H_2$ - $O_2$ -Verbrennungsmotor. XX. Energie-Symposium, Stralsund (2013)

Haller, J., Hartmann, I., König, M., Ortwein, A.: Basic studies on the development of micro combustion systems for biomass. Proceedings of the European Combustion Meeting 2013, Lund (2013)

Haller, J., Link, T.: Kombiniertes Gas- und Dampfprozess im emissionsfreien  $H_2$ - $O_2$ -Verbrennungsmotor - erste Untersuchungsergebnisse. XXI. Energie-Symposium, Stralsund (2014)

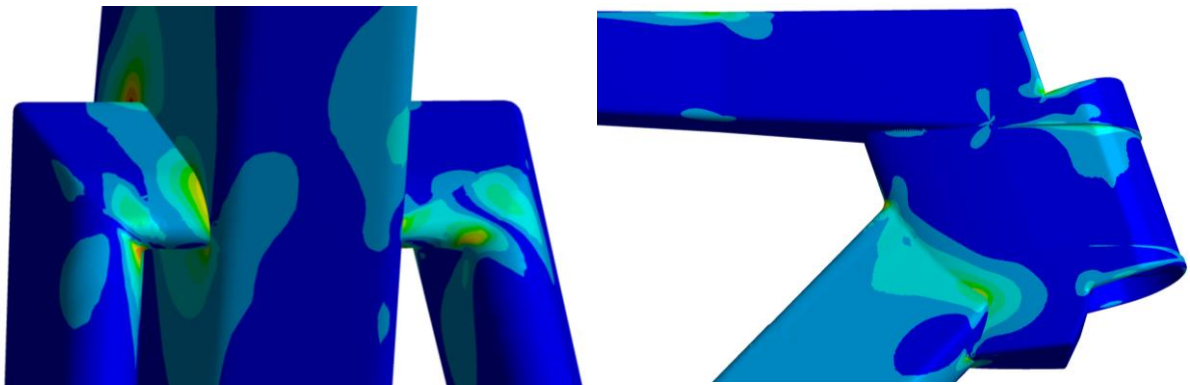
Haller, J., Link, T.: Simulation eines stationären  $H_2$ - $O_2$ -Verbrennungsmotors mit kombiniertem Gas- und Dampfprozess in ANSYS CFX. ANSYS Conference & 32. CADFEM Users's Meeting, Bremen (2015)

Haller, J., Link, T.: A Novel High Efficient Zero-Emission Process for Stationary Internal Combustion Engines Utilizing Hydrogen and Oxygen - A Thermodynamic Concept. Hydrogen Days - 7th International Conference on Hydrogen Technologies, Prag (2016)

Haller, J.: Entwicklung eines effizienten emissionsfreien  $H_2$ - $O_2$ -Verbrennungsmotors zur stationären Anwendung. XXIII. Energie-Symposium, Stralsund (2016)

## Harzinfusionsverfahren zur Herstellung eines faserverstärkten Kunststoffrahmens

Ziel des Projekts war es, ein neuartiges Verfahren zur Herstellung eines Fahrradrahmens aus kohlenstoffaserverstärktem Kunststoff (CFK) auf Basis eines Vakuuminfusionsverfahrens zu entwickeln und zu erproben. Hierbei soll das Werkstück im Ganzen gefertigt werden, sodass keine Nachbearbeitung im Sinne der Verbindung verschiedener Rahmenteile erfolgt. Die Vorteile dieses Verfahrens sind, dass die Carbon-Faser nicht durch Verbindungen geschwächt wird, der Rahmen bei gleichbleibenden mechanischen Eigenschaften ein niedrigeres Gewicht aufweist und der Herstellungsaufwand geringer wird, was zu einer günstigeren Produktion führt.



**Abbildung 5.27: Spannungen im Bereich der Verbindung zwischen Sitzstreben und Sitzrohr (links) sowie im Bereich des Steuerkopfes (rechts).**

Bei der Entwicklung neuer Fahrradrahmen aus CFK ist es notwendig, Designänderungen anhand von Prototypen auf ihre Festigkeit zu überprüfen. Dieser Vorgang ist sowohl aufwändig als auch teuer. Aus diesem Grund wurden verschiedene Designs zunächst mit Hilfe einer FEM-Simulation miteinander verglichen, um eine Überdimensionierung des Fahrradrahmens zu vermeiden. In der entsprechenden Norm DIN EN 14781 sind vier Prüfprozeduren für Fahrradrahmen vorgesehen. Es handelt sich dabei um zwei dynamische und zwei quasi-statische Lastfälle, welche eine zusätzliche Lebensdaueranalyse beinhalten. Die beiden dynamischen Prüfungen wurden in jeweils drei Schritten durchgeführt. Zunächst wurde die benötigte Aufprallgeschwindigkeit mithilfe einer Mehrkörpersimulation ermittelt. Diese Aufprallgeschwindigkeit wurde im nächsten Schritt als Randbedingung für eine explizite Dynamik-Simulation genutzt, um so die auf den Rahmen wirkenden Kontaktkräfte zu berechnen. Mit Hilfe dieser Kontaktkräfte war es möglich, den Rahmen mit seinem Faseraufbau hinsichtlich seiner strukturmechanischen Eigenschaften zu untersuchen. Als Kriterium für die Bewertung der Ergebnisse wurde das Kriterium der maximalen Spannung genutzt.

Die beiden quasi-statischen Simulationen konnten in jeweils einem Schritt durchgeführt werden. Dabei wurde für den Belastungsfall der pedalerenden Kräfte ein komplexer Aufbau mit Kurbeln, Hinter- und Vorderraddummy benötigt, um den Anforderungen der Norm gerecht zu

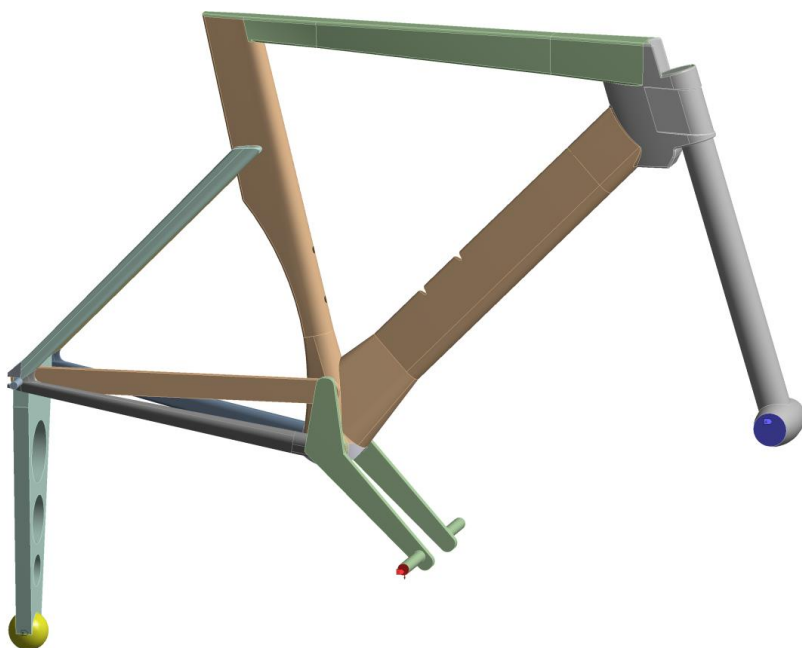
**Projektmitarbeiter**  
Matthias Haenecke, Claudia Langlotz, Holger Langlotz, Henrik Schneider



**Laufzeit**  
09/2013 – 08/2015

**Förderung**  
Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (16KN020329)

werden. Im Anschluss wurden die Ergebnisse mit Hilfe von Wöhler-Kurven auf eine Lebenszeit von 100.000 Zyklen hochgerechnet. Der zweite quasi-statische Belastungsfall behandelt eine wechselnde Kraft an der Vorderachse des Fahrrads, welche in Richtung des Radstands oszilliert. Die Auswertung erfolgte hier analog zu den vorherigen Fällen.



Im Zuge des Projektes wurden alle Simulationen durch die Hochschule Nordhausen durchgeführt. Die Materialparameter der zu verwendenden Halbzeuge wurden in den Laboren der Hochschule ermittelt. Zusammen mit den Projektpartnern Carbon Manufaktur aus Würzburg und Müller Kunststofftechnik aus Kirchheiligen wurde das Fertigungsverfahren experimentell erprobt und optimiert.

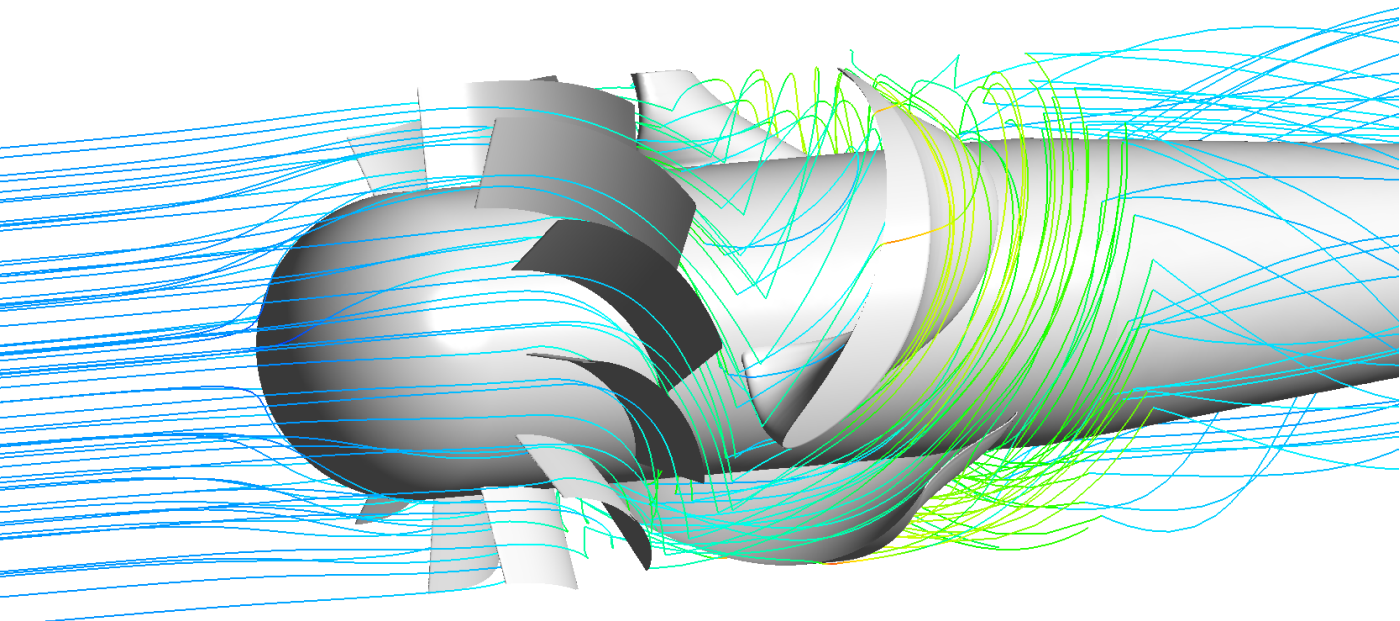
**Abbildung 5.28: Modellierung der DIN-Prüfung**

## Veröffentlichungen

Haenecke, M., Link, T.: FEM-Simulation eines CFK-Fahrradrahmens mit ANSYS Composite PrepPost. ANSYS Conference & 32. CADFEM Users's Meeting, Bremen (2015)

## Entwicklung einer schaufelprofil- und leistungsoptimierten Fließwasserturbine

Die im Rahmen dieses Projekts entwickelte Fließwasserturbine ist für eine Fallhöhe von 1 bis 8 m und einen Volumenstrom von 0,3 m<sup>3</sup>/s bis 2 m<sup>3</sup>/s konzipiert. Damit liegt die Turbine in einem klassischen Arbeitsgebiet von alten Mühlenrädern. Die Auslegung weist einerseits einen hohen Wirkungsgrad auf und kann andererseits durch neue Fertigungstechniken dennoch günstig hergestellt werden. Aus diesem Grund ist es möglich, verwaiste Standorte von Kleinwasserkraftanlagen wieder zu ertüchtigen oder neu zu erschließen.



**Abbildung 5.29: Ergebnis der CFD-Simulation der Turbine mit Darstellung der Stromlinien**

Das in.RET verantwortet in dem Projekt die Vorentwicklung und Simulation sowie die Konstruktion der Turbine. Beim Design und der Auslegung der Maschine wurde auch der Faktor Fischfreundlichkeit berücksichtigt, um die wasserbehördliche Genehmigung zu vereinfachen und möglicherweise auf einen Feinrechen zu verzichten. Die hydraulische Auslegung wurde mit CFD-Simulationsrechnungen optimiert, wodurch sich die Turbine durch einen vergleichsweise hohen Wirkungsgrad auszeichnet.

Die Gesamtkonstruktion besitzt einen direkt in die Turbine integrierten Generator. Durch einen Umrichterbetrieb des Generators kann die Turbine drehzahlvariabel arbeiten. Der Umrichter verfügt über einen MPP-Tracker, sodass die Anlage sich selbstständig auf einen optimalen Betriebspunkt einstellt.

Den Projektabschluss stellt der Bau und Betrieb eines Prototyps der Anlage dar. Dafür sind drei Teststandorte in Planung. In Beiseförth (Hessen) soll basierend auf einem bestehenden

Projektmitarbeiter  
Matthias Haenecke, Claudia Langlotz, Holger Langlotz, Thomas Link, Rio Rathje



Laufzeit  
11/2015 – 10/2017

Förderung  
Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (2119912HM4)

Wasserrecht ein Funktionsmuster der Turbine im September 2017 eingebaut werden. Für die Standorte Radeburg (Sachsen) und Mecklar (Hessen) sind die entsprechenden behördlichen Genehmigungsverfahren eingeleitet worden. Projektpartner sind die Firmen KD Stahl- und Maschinenbau aus Breitenworbis und die RSV GmbH aus Rotenburg/Fulda.

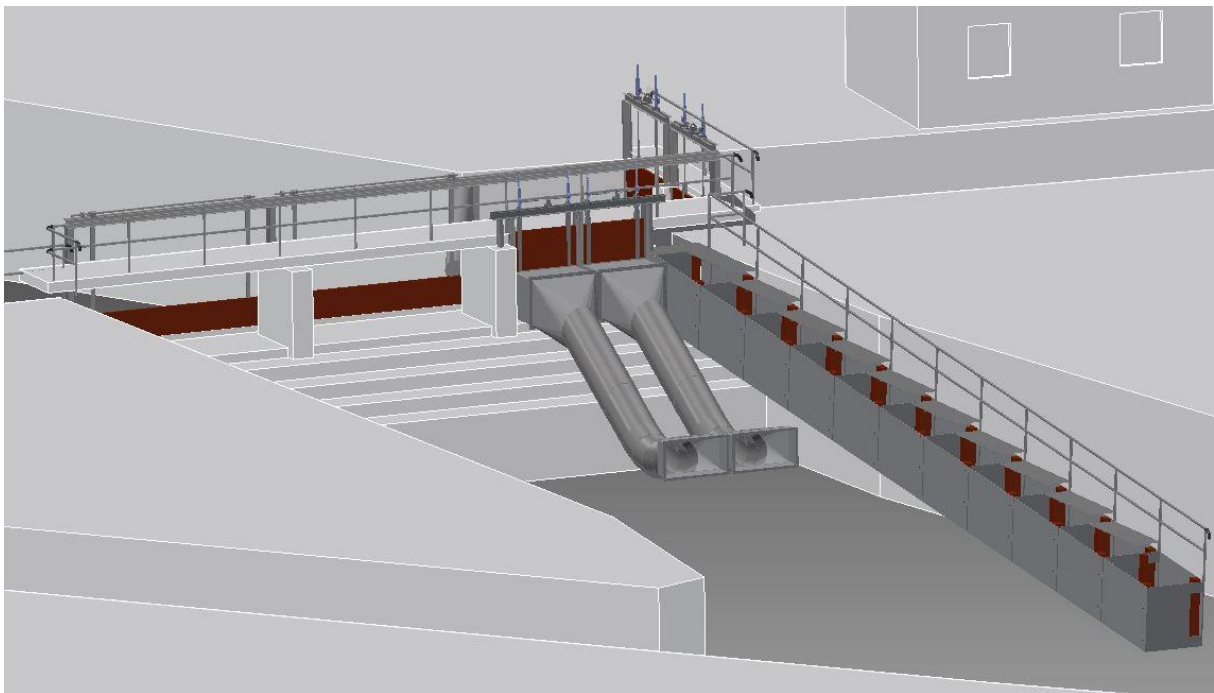


Abbildung 5.30: Gesamtkonzept für den Standort Radeburg mit einer aus zwei Turbinen bestehenden Anlage

## Fallstudie solare Fernwärme

Im Rahmen einer Initiative des Landes Thüringen zur Markteinführung von solaren Nah- und Fernwärmeanlagen wurden drei Fallstudien durchgeführt. Die drei Kommunen sollen hierbei repräsentativ für eine größere Stadt, eine kleinere Stadt und für ein Dorf ausgewählt werden. Zweck der Fallstudien ist es, die technische und wirtschaftliche Machbarkeit von solaren Nah- und Fernwärmeanlagen anhand konkreter Beispiele nachzuweisen. Das in.RET bearbeitete zusammen mit dem Hamburg Institut und Solites die Fallstudie zur solaren Fernwärme in Sondershausen.

In dieser Fallstudie wird die Einbindung von Solarthermie in das bestehende Wärmenetz der Stadtwerke Sondershausen untersucht. Das Wärmenetz mit einer Wärmenetzeinspeisung von ca. 30 GWh/a wird mit einem Erdgas-Blockheizkraftwerk, einem Holzhackschnitzelkessel und zwei Erdgaskesseln versorgt. Zur Betriebsoptimierung wurden drei in Reihe geschaltete Wärmespeicher installiert. Während der Heizperiode wird der Holzkessel durchgängig betrieben, das BHKW und die Gaskessel stellen die verbleibende Wärme bereit. Der sommerliche Wärmebedarf wird fast vollständig durch das BHKW gedeckt, das mit Nennleistung taktend die Wärmespeicher belädt.

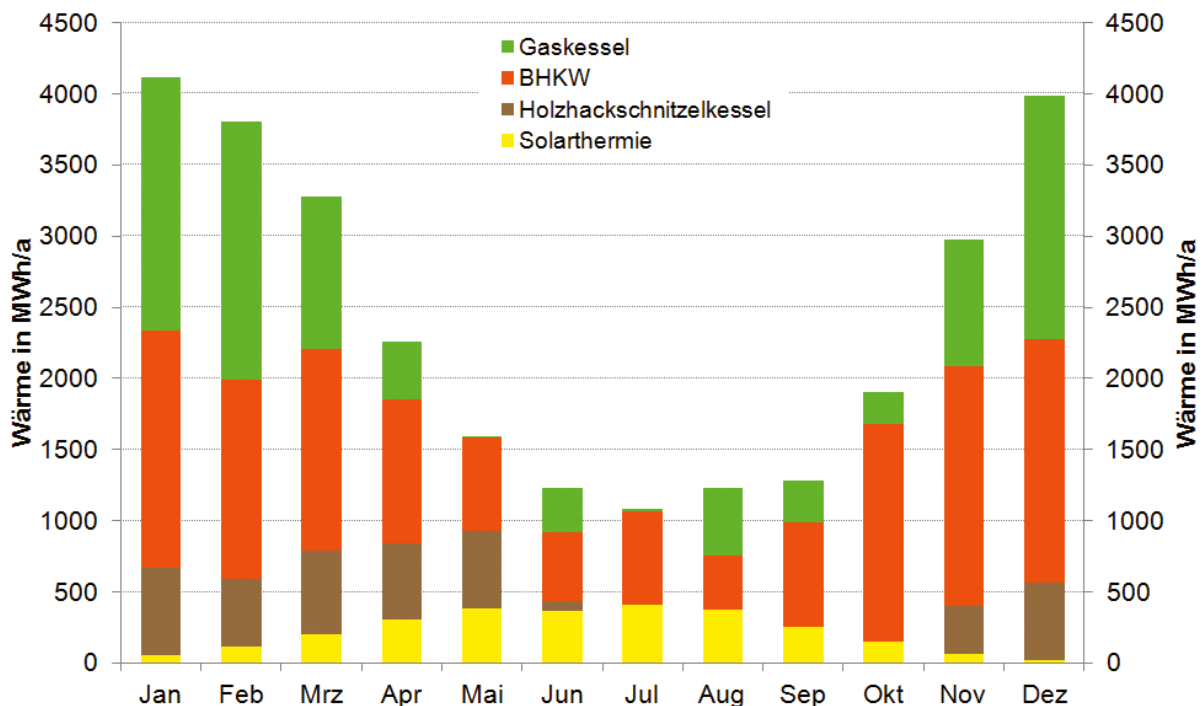


Abbildung 5.31: Solare Wärmenetzeinspeisung mit 6.000 m<sup>2</sup> Vakuumröhrenkollektoren und 600 m<sup>3</sup> Wärmespeicher (Quelle: Solites)



**Projektmitarbeiter**  
Rainer Große, Thomas Schabbach

**Laufzeit**  
01/2014 – 10/2016

**Förderung**  
Thüringer Ministerium für Umwelt, Energie und Naturschutz, Solites

U.a. wurden in der Fallstudie die Wärmeerträge von 1.000 bis 6.000 m<sup>2</sup> Kollektorfläche und 100 bis 600 m<sup>3</sup> Speichervolumen simuliert, wobei die Solarthermie mit Vorrang in das Wärmenetz einspeist. Mit diesen Kollektorflächen kann ein Anteil von 1 bis 8 % des Jahreswärmebedarfs des Wärmenetzes zu solaren Wärmegehungskosten von 59 €/MWh (Vakuüm-röhrenkollektoren) bis 46 €/MWh (Flachkollektoren) durch Solarthermie bereitgestellt werden (vgl. Abbildung 5.31).

Da das BHKW im Sommerbetrieb den größten Anteil an Wärme erzeugt, wird seine Laufzeit durch die Einbindung von Solarthermie verringert. Dies hat Auswirkungen auf die Stromerzeugung des BHKW und damit auf die Wirtschaftlichkeit des gesamten Wärmenetzes. Im Rahmen der Fallstudie wurden für die derzeit bestehende Wärmeversorgung und die Varianten mit der Einbindung von Solarthermie die Wärmegehungskosten der gesamten Anlage berechnet. Die Wärmegehungskosten des bestehenden Systems betragen 41,23 €/MWh, die bei Einbindung von Solarthermie bei 41,95 €/MWh, so dass eine Wirtschaftlichkeit derzeit nicht gegeben ist.

## Veröffentlichungen

Solites (Hg.): Zukunft Sonne! Solarthermie und Fernwärme: Ein Wegweiser für die Praxis. Erfurt (2016)

## Energiemonitoring für Thüringen

2012 beauftragte das Thüringer Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Technologie das in.RET mit einem externen Monitoring des Energiesektors in Thüringen. Dieses sollte u.a. aufzeigen, in welchem Zusammenhang die energiepolitischen Ziele der Landesregierung zu einander stehen, welche Maßnahmen seitens der Landesregierung ergriffen wurden, welche Defizite noch bestehen und wie diesen abgeholfen werden kann. Die Ergebnisse wurden in einem Monitoringbericht zusammengefasst und veröffentlicht.

Mit Hilfe von Indikatoren wurde der Fortschritt der Energiewende in Thüringen sichtbar gemacht sowie Handlungsmöglichkeiten und -defizite aufgezeigt. Dabei wurde versucht, auf Basis von öffentlich zugänglichen Daten ein möglichst vollständiges Bild der notwendigen und erreichten Veränderungen darzustellen. Einen Schwerpunkt bildeten dabei die Bereiche Energieeffizienz, Stromversorgung und Wärmebereitstellung. Nur für einen Teil der gewählten Indikatoren lagen Zielwerte der Landesregierung vor. Es war daher eine Aufgabe des Monitoringprozesses, daraus ein konsistentes System von Zielwerten für den gewählten Indikatorensatz abzuleiten. In Abbildung 5.32 sind die Indikatoren, deren Zielwerte und der Grad der Zielerreichung tabellarisch zusammengefasst. Für die normal gedruckten Indikatoren entsprechen die Zielwerte politischen Zielen der Landesregierung; für die kursiv gedruckten Indikatoren wurden im Rahmen dieser Studie Ziele abgeleitet.

Indikator	Zielwert (2020)	Bezugswert	Istwert (2010)
Energieproduktivität	+ 20 %	2010	-
<i>Endenergieverbrauch</i>	<i>- 8 %</i>	<i>2010</i>	<i>-</i>
EE-Anteil am Endenergieverbrauch	30 %	-	18,7 %
EE-Anteil am Nettostromverbrauch	45 %	-	23,2 %
<i>EE-Anteil an der Wärmebereitstellung</i>	<i>33 %</i>	<i>-</i>	<i>23,6 %</i>
<i>EE-Anteil am Treibstoffbedarf</i>	<i>10 %</i>	<i>-</i>	<i>5,7 %</i>
Energiebedingter CO <sub>2</sub> -Ausstoß	- 10 %	2010	

**Abbildung 5.32: Indikatoren und Zielwerte des Energiemonitorings für Thüringen**

Der Endenergieverbrauch Thüringens teilt sich etwa zur Hälfte auf den Sektor Wärme und zu je einem Viertel auf die Sektoren Strom und Treibstoffe auf (Abb. 5.33). Das Minderungsziel von 8 Prozent betrifft vor allem den Wärme- und Treibstoffsektor, da nicht von einem sinkenden Strombedarf ausgegangen wird. Das Landesziel von 30 Prozent Erneuerbaren Energien (EE) am Endenergieverbrauch bis zum Jahr 2020 setzt sich zusammen aus den Anteilen der EE am Strom-, Wärme- und Treibstoffverbrauch. Der Treibstoffbereich ist am wenigsten durch landespolitische Maßnahmen beeinflussbar, so dass hier eine Erreichung des EU-Zieles von 10 Prozent EE im Jahr 2020 sicherlich eine obere Abschätzung darstellt. Mit dem Landesziel von 45 Prozent EE am Nettostromverbrauch lässt sich dann für die Wärmebereitstellung ein Ziel von 33 Prozent für das Jahr 2020 ableiten.

Projektmitarbeiter  
Viktor Weselak

Laufzeit  
10/2012 – 10/2013

Förderung  
Thüringer Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Technologie

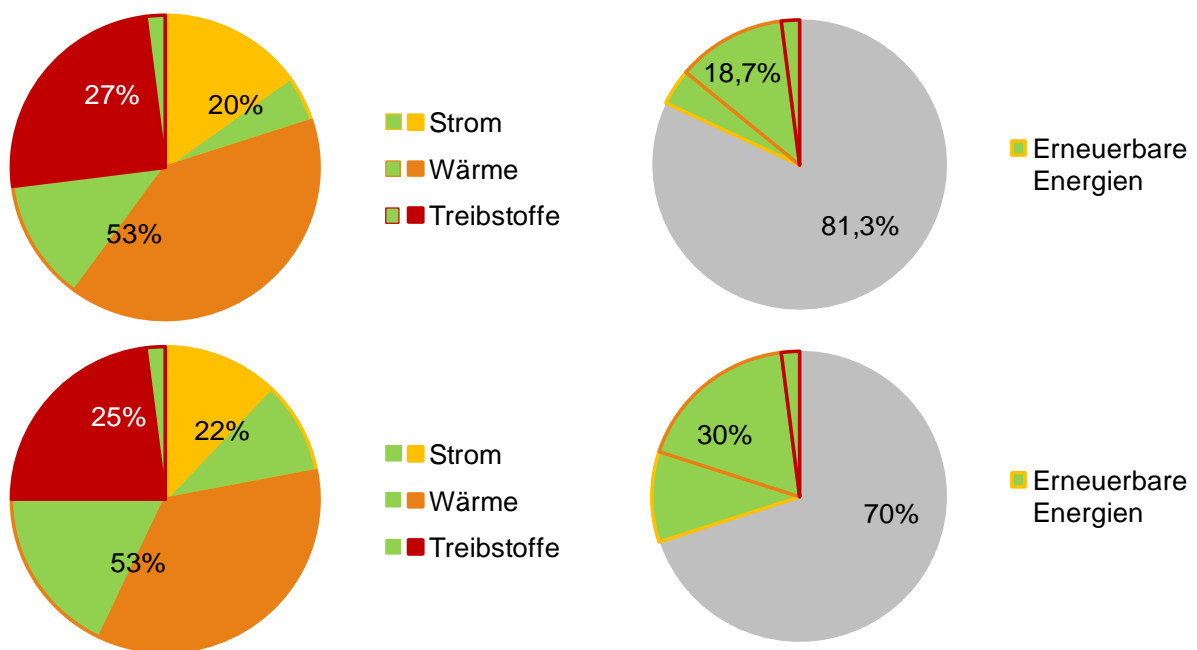


Abbildung 5.33: Sektorale Aufteilung des Endenergiebedarfs in Thüringen und Anteil der Erneuerbaren Energien im Jahr 2010 (oben) und 2020 (unten).

Grundsätzlich sind die energiepolitischen Ziele der Landesregierung bis zum Jahr 2020 erreichbar. Dazu sind allerdings verstärkte Anstrengungen insbesondere zur Steigerung der Energieeffizienz in Industrie und Gewerbe, zur Senkung des Raumwärmebedarfs und zum Ausbau erneuerbarer Energien im Wärmebereich notwendig. Letzterem kommt eine entscheidende Bedeutung sowohl hinsichtlich der Reduktion des Endenergieverbrauchs als auch hinsichtlich des Anteils erneuerbarer Energien am Endenergieverbrauch zu. Im Bereich der Stromerzeugung wird der größte Beitrag von der Windkraft kommen müssen.

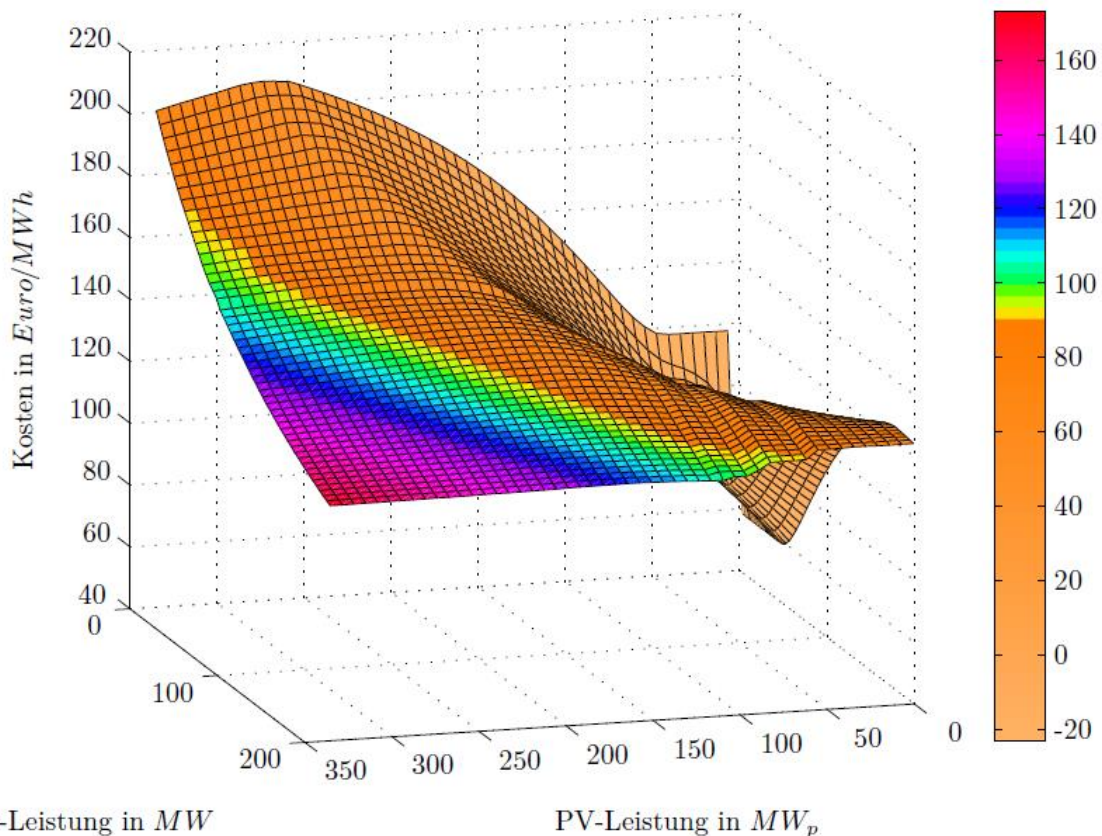
## Veröffentlichungen

Thüringer Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Technologie (Hg.): Energiemonitoring für Thüringen – Abschlussbericht 2013. Erfurt (2013)

## Stromversorgung der Industriegroßfläche Erfurter Kreuz aus 100 Prozent erneuerbarer Energien

Zahlreiche Untersuchungen zum sogenannten Eigenverbrauch im Bereich der privaten Haushalte sind in den vergangenen Jahren durchgeführt worden. Im Rahmen dieser Studie wurden explizit die Anforderungen von industriellen Energieverbrauchern betrachtet. Anhand des realen Lastgangs der Industriegroßfläche Erfurter Kreuz wurden verschiedene Zusammensetzungen eines Erzeugermixes mit und ohne Speicherkapazität untersucht.

Die Energieversorgung der Industriegroßfläche Erfurter Kreuz kann unter bestimmten Rahmenbedingungen zu 100 Prozent mit erneuerbaren Energien sichergestellt werden. Die kostengünstigste Variante zur Energieversorgung stellt dabei ein möglichst hoher Anteil von Windenergie im Erzeugerpark dar (Abbildung 5.34). Diese Energieform weist derzeit die geringsten Stromgestehungskosten erneuerbarer Energieträger auf und bietet zudem enorme



**Abbildung 5.34: Kosten und regenerativer Deckungsanteil (Farbskala) in Abhängigkeit der installierten Wind- und PV-Leistung**

**Projektmitarbeiter**  
Maria Nuschke, Sebastian Voswinckel, Viktor Wesselak

**Laufzeit**  
01/2013 - 07/2013

**Förderung**  
Thüringer Landtagsfraktion von Bündnis 90/Die Grünen

Ausbaupotenziale. Aufgrund der zeitlichen Diskontinuität der Energiebereitstellung aus Windkraftanlagen muss diese Form der Energieerzeugung durch eine weitere Technologie ergänzt werden. Das saisonale Erzeugungstief der Windenergie wird dabei durch das Erzeugungshoch der Photovoltaik gut ergänzt. Dennoch können auch bei der Kombination beider Energieträger in einem Erzeugerpark immer wieder Phasen von nicht ausreichender Energieproduktion auftreten. Ist ein ausreichendes Biomassepotenzial zur Erzeugung von Biogas vorhanden kann dieses zur Ergänzung genutzt werden. Die Methanisierung von Biomasse erfolgt in einem kontinuierlichen Prozess, so dass hier eine zum Gesamtleistungsbedarf deutlich geringere Fermenterleistung erforderlich ist, um den Anforderungen hinsichtlich einer Fehllastdeckung zu genügen. Voraussetzung dabei ist, dass das erzeugte Biogas gespeichert werden kann. Zur Speicherung bietet sich dabei das bestehende Erdgasnetz an.

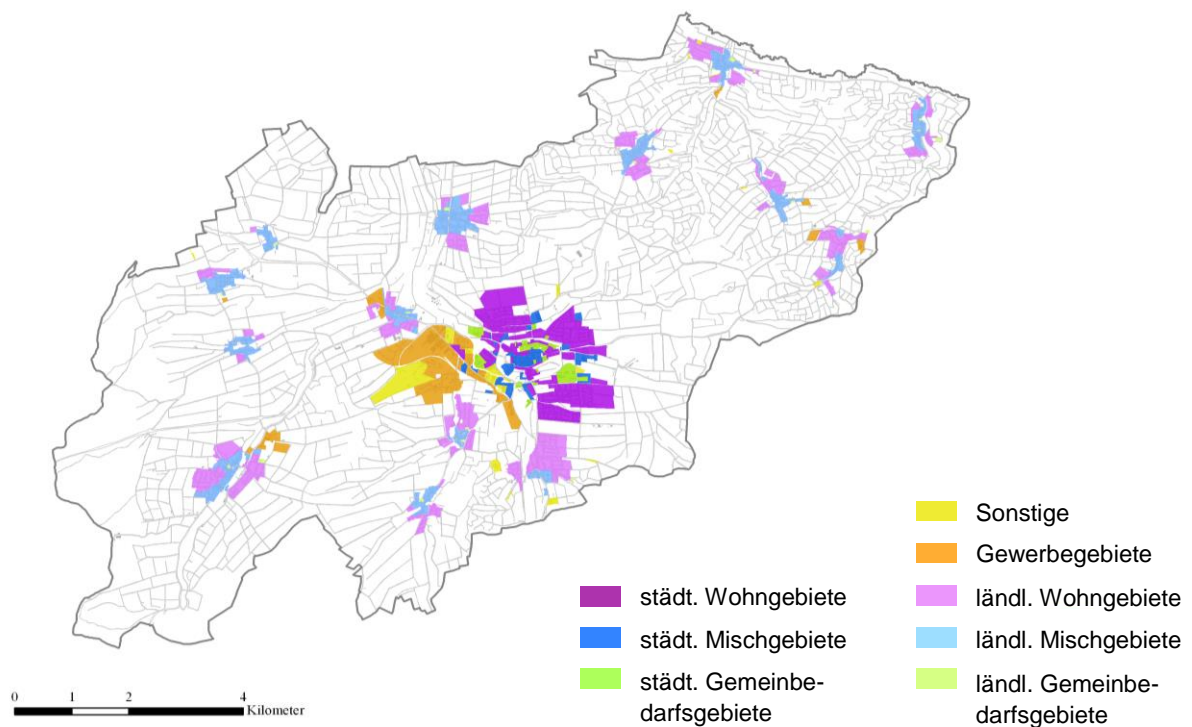
Die Energieversorgung der Industriegroßfläche Erfurter Kreuz durch lokal, d.h. in unmittelbarer Nähe, vorhandene Potentiale von Photovoltaik, Windenergie und Biomasse ist nicht realisierbar. Selbst auf Landkreisebene ist das Ziel einer sicheren und nachhaltigen Energieversorgung auf Basis erneuerbarer Energien nicht erfolgversprechend. Eine ausschließlich erneuerbare Energieversorgung ist folglich nur unter Einbeziehung überregionaler Potentiale möglich, was mit der überregionalen Ausstrahlung des Industriegebiets Erfurter Kreuz hinsichtlich Wirtschaftsleistung und Beschäftigung korrespondiert. Neben der Verfügbarkeit der Potentiale muss dann auch der überregionale Energiebedarf insbesondere von Gewerbe, Handel und den privaten Haushalten mitberücksichtigt werden. Langfristig stellt dabei das vorhandene Biomassepotenzial den limitierenden Faktor dar. Weiterhin steht das spezifische Lastprofil eines Industriegebiets einem hohen Photovoltaikanteil innerhalb des Erzeugerparcs entgegen; hier sind bei gemischten oder überwiegend für Wohnzwecke genutzten Versorgungsgebieten andere Ergebnisse zu erwarten. Bei ausgebauter Netzinfrastruktur ist daher die Konzentration industrieller Verbraucher in Industriegebieten auch bei einem hohen Anteil erneuerbarer Energien unproblematisch.

## Veröffentlichungen

BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN Landtagsfraktion Thüringen (Hg.): Untersuchung zur Stromversorgung der Industriegroßfläche Erfurter Kreuz aus 100% erneuerbarer Energien. Erfurt (2013)

## 100 % Erneuerbare Energien für Duderstadt

Im Rahmen einer Potentialstudie wurde untersucht, inwieweit die Stadt Duderstadt ihren Strom- und Wärmebedarf aus erneuerbaren Energiequellen decken kann. Dazu wurde zunächst der Istzustand auf Basis der Erzeugungs- und Verbrauchswerte des Jahres 2010 ermittelt: etwa 30 Prozent des Strombedarfs und 10 Prozent des Wärmebedarfs wurden 2010 bereits durch erneuerbare Energien gedeckt. Für jede erneuerbare Energieoption wurden die Möglichkeiten einer Nutzung innerhalb des Gemeindegebiets untersucht. Dazu wurden acht Flächennutzungstypen definiert (vgl. Abbildung 5.35), auf deren Basis sowohl Energiebedarfe als auch Erzeugungspotentiale hochgerechnet wurden.



**Abbildung 5.35: Flächennutzungstypen für die Kernstadt Duderstadt sowie die Ortsteile**

Die so ermittelten Energiepotentiale wurden mit den prognostizierten Energiebedarfen im Jahr 2030 ins Verhältnis gesetzt und damit mögliche (bilanzielle) Deckungsgrade ermittelt. Dabei wurde für das Jahr 2030 von einem im wesentlichen gleichbleibenden Strombedarf und einem aufgrund von Energieeffizienzmaßnahmen um 20 Prozent zurückgehenden Wärmebedarf ausgegangen. Die Ergebnisse sind in den folgenden Abbildungen 5.36 und 5.37 dargestellt.

**Projektmitarbeiter**  
Joachim Fischer, Steffi Klenner, Maria Nuschke, Viktor Wesselak

**Laufzeit**  
04/2011 – 02/2012

**Förderung**  
EEW Eichsfelder Energie- und Wasserversorgungs GmbH

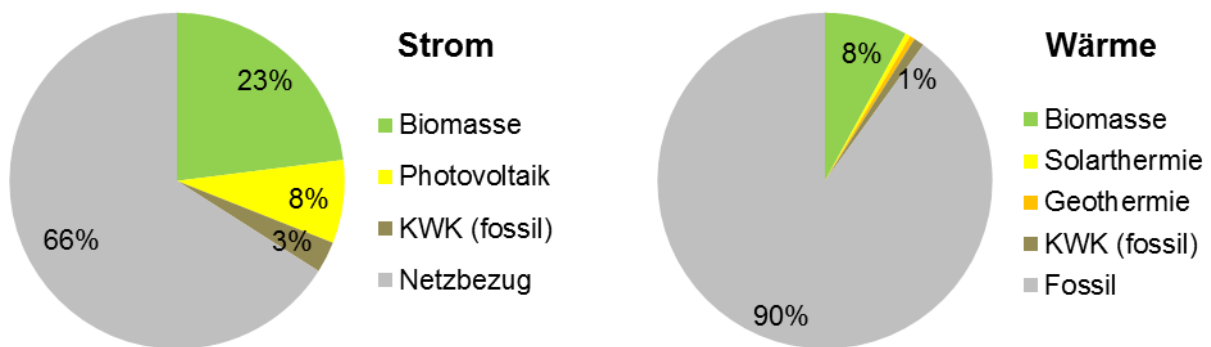


Abbildung 5.36: Strom- und Wärmebereitstellung in Duderstadt 2010 (Istzustand)

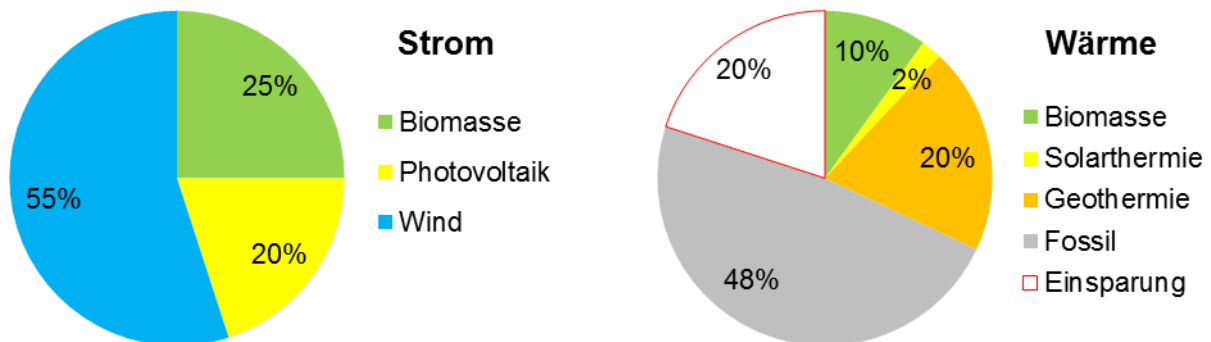


Abbildung 5.37: Strom- und Wärmebereitstellung in Duderstadt 2030 (Zielszenario)

Man erkennt, dass im Strombereich eine bilanzielle Vollversorgung mit Hilfe der vorhandenen Windkraftpotentiale bequem zu erreichen ist. Hingegen kann im Wärmebereich selbst bei einer konsequenten Ausschöpfung aller Potentiale nur eine Halbierung des fossilen Energieeinsatzes erreicht werden.

# 6 Veröffentlichungen

## Bücher, Buchkapitel

Schabbach, T., Wesselak, V.: Energie – Die Zukunft wird erneuerbar. Springer, Berlin (2012)

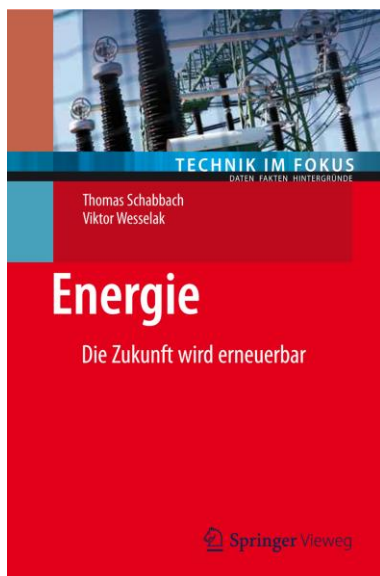
Wesselak, V.: Nachhaltigkeit als Konzept eines zukünftigen Energiesystems Ein Beitrag für die online-Akademie der Friedrich-Ebert-Stiftung (2012)

Wesselak, V., Voswinckel, S.: Photovoltaik – Wie Sonne zu Strom wird. Springer, Berlin (2012)

Wesselak, V., Schabbach, T., Link, T., Fischer, J.: Regenerative Energietechnik. 2., erweiterte und vollständig neu bearbeitete Auflage, Springer, Berlin (2013)

Schabbach, T., Leibbrandt, P.: Solarthermie - Wie Sonne zu Wärme wird. Springer, Berlin (2014)

Wesselak, V.; Steinert, P.; Nuschke, M.: Energieeffizienzmaßnahmen und Einsatz Regenerativer Energien bei Sonderbauten im Denkmalsbereich am Beispiel der Leuchtenburg/Thüringen, In: Denkmalpflege: Kontinuität und Avantgarde: Arbeitsheft des Thüringischen Landesamtes für Denkmalpflege und Archäologie Neue Folge 43 (2014)





Lustermann, B.: Modellierung tubulärer optischer Fasern am Beispiel eines optisch-elektrischen Kombinationsleiters. Dissertation, Nordhäuser Hochschultexte Bd. 4 (2015)

Lustermann, B., Viehmann, M., Manske, E.: Modeling of Tubular Optical Fibers using the Example of an Optical-electrical Combination Conductor, in: Bunge/Kruglov (Hg.): POF Simulation beyond Data Transmission, Summary of the 3rd International POF Modelling Workshop, Books on Demand (2015)

Lustermann, B.: Basic principles of optical fibres & Special fibres and components, in: Bunge, C.-A., Gries, T., Beckers, M.: Polymer Optical Fibres -- Fibre Types, Materials, Fabrication, Characterisation and Applications. Woodhead Publishing, Amsterdam (2016)

Wesselak, V., Voswinckel, S.: Photovoltaik – Wie Sonne zu Strom wird. 2., erweiterte und vollständig neu bearbeitete Auflage, Springer, Berlin (2016)

## Zeitschriftenbeiträge<sup>1)</sup>

Wesselak, V., Schabbach, T.: Wärme aus Erneuerbaren Energien – Argumente für ein Erneuerbare-Energien-Wärme-Gesetz. WIR in Thüringen 06, Erfurt (2012)

Haller, J., Voswinckel, S., Wesselak, V.: The effect of quantum efficiencies on the optimum orientation of photovoltaic modules – A comparison between crystalline and thin film modules. Solar Energy (88), S 97-103 (2013)

Voswinckel, S.; Manz, P.; Schmidt, C.; Wesselak, V.; Fokuhl, E.; Trautmann, B.: Investigation of leakage currents depending on the mounting situation in accordance to amorphous silicon modules. Energy Procedia (57) S 56-64 (2014)

## Vorträge auf Konferenzen und Tagungen<sup>1)</sup>

Fischer, J., Genske, D., Jödecke, T., Klenner, S., Nuschke, M., Ruff, A., Schwarze, M., Wesselak, V.: Szenarienbasierte Potenzialanalyse für den Ausbau erneuerbarer Energien in Thüringen. XIX Energie-Symposium, Stralsund (2012)

Leibbrandt, P.: Optimization of Solar Heat-Storages by Computational Fluid Dynamics and Prototype-Testing. 4th International Week: Socially Responsible Business and Technologies, Vilnius (2012)

---

<sup>1</sup> Die folgende Übersicht enthält alle diejenigen Veröffentlichungen, die nicht schon im vorangegangenen Abschnitt unter dem jeweils zugehörigen Projekt aufgeführt wurden.

Voswinckel, S.: Gegenwart und Zukunft von Dünnschichtphotovoltaikmodulen. XIX. Energie-Symposium, Stralsund (2012)

Voswinckel, S.: Photovoltaic Systems: Basics – Components – Applications. 4th International Week: Socially Responsible Business and Technologies, Vilnius (2012)



Birgit Lustermann

**Modellierung tubulärer optischer  
Fasern am Beispiel eines  
optisch-elektrischen  
Kombinationsleiters**

Dissertation

Band 4 - 2015

Voswinckel, S.: 100% Erneuerbare Energien für Thüringen. Workshop Industriennahe Forschergruppen des TMWAT, Ilmenau (2012)

Wesselak, V.: Potentiale der Erneuerbaren Energien in Thüringen. 2. Erneuerbare-Energien-Konferenz Thüringen Erneuer!-bar, Weimar (2012)

Wesselak, V.: Ergebnisse aus dem Thüringer Bestands- und Potenzialatlas. Tag der Thüringer Wohnungswirtschaft, Suhl (2012)

Wesselak, V.: Energietische Sanierung des Wohnungsbestandes und bezahlbares Wohnen. Wohnungspolitische Konferenz – Fraktion Die Linke, Sömmerda (2012)

Wesselak, V.: Szenarien und Konzepte für die Energiewende in Thüringen. VDE Symposium 2012 Energiewende in Thüringen – Auswirkungen auf die Stromverteilnetze und Umsetzung in der Geräte- und Anlagentechnik, Erfurt (2012)

Wesselak, V.: Photovoltaik - Können die Ausbauziele bei geänderten Rahmenbedingungen eingehalten werden? BWK-Tagung Erneuerbare Energien im Land Sachsen-Anhalt, Wernigerode (2012)

Wesselak, V.: Regionale Energiepotentiale - die Energiewende in der Region. Duderstadt (2012)

Wesselak, V.: Fachwerk energetisch sanieren – ein Fallbeispiel. Fachwerktrienale, Lengenfeld unterm Stein (2012)

Lustermann, B., Viehmann, M., Manske, E., Gerhardt, U., Kloß, C.: Simulation und Optimierung eines optisch-elektrischen Kombinationsleiters, Deutsches POF Symposium, Aachen (2013)

Lustermann, B., Viehmann, M., Manske, E., Gerhardt, U., Kloß, C.: Simulation and optimization of an optical-electrical combination conductor system. AMA conferences proceedings, S. 79-84, Nürnberg (2013)

Wesselak, V.: Energiemonitoring für Thüringen. 2. Thüringer Energiegipfel, Weimar (2013)

Wesselak, V., Nuschke, M., Leibbrandt, P.: Energieeffizienz und Denkmalschutz am Beispiel der Leuchtenburg. Jahrestagung der Vereinigung der Landesdenkmalpfleger, Erfurt (2013)

Wesselak, V., Funke, J.: Forschungsförderung und Trennungsrechnung an der Fachhochschule Nordhausen - oder warum eigene Wege sich gerade für kleine Hochschulen lohnen. Tag der Forschung, Jena (2013)

Leibbrandt, P., Schabbach, T.: Solarthermie in der Wohnungswirtschaft, Technik - Auslegungsgrundsätze - Wirtschaftlichkeit. vtw.-Workshop Solarthermie in der Wohnungswirtschaft, Erfurt (2014)

Wesselak, V., Fischer, J., Link, T., Schabbach, T., Scholz, S.: 5 Thesen für eine nachhaltige Energiepolitik. XXI. Energie-Symposium, Stralsund (2014)

Wesselak, V.: Tschernobyl und Fukushima - die Reaktorunfälle und die Folgen. BUND Thüringen, Erfurt (2014)

Wesselak, V.: Wärme – der blinde Fleck in der energiepolitischen Diskussion. 6 Thesen zur Wärmewende. ThEGA-Forum. Erfurt (2014)

Berberich, M., Große, R., Sandrock, M., Schabbach, T.: Solare Fernwärme Sondershausen, Vortrag auf Workshop des Thüringer Ministeriums für Umwelt, Energie und Naturschutz. Erfurt (2015)

Große, R.: Einbindung regenerativer Energieerzeugung in Fernwärmeversorgungssysteme. ThEEN-Fachforum „Erneuerbare Wärme“, Erfurt (2015)

Leibbrandt, P.: Solarthermie - Wirtschaftliche Anwendungen einer erprobten Technik. Workshop Solarthermie für Bürgerenergiegenossenschaften in Thüringen, Erfurt (2015)

Schabbach, T.: Solarthermie – Auslegungsgrundsätze und Wirtschaftlichkeit. ThEEN-Fachforum „Erneuerbare Wärme“, Erfurt (2015)

Wesselak, V.: Die Sanierung eines Fachwerkhouses – denkmalgerecht und energieeffizient. Landkreis-Baumesse „So wird saniert“. Rödles (2015)

Wesselak, V.: Wo steht Thüringen bei der Wärmewende? 5. Erneuerbare-Energien-Konferenz Thüringen Erneuer!-bar, Weimar (2015)

Große, R.: Grenzen und Möglichkeiten der Integration von erneuerbaren Energien insbesondere Solarthermie in bestehende Fernwärmenetze. BDEW-Fachtagung: Chancen und Potentiale der (Fern-)Wärmeversorgung, Weimar (2016)

Große, R.: Über die Suche nach einer gemeinsamen Sprache im Diskurs zur Gestaltung der Energiewende, Veranstaltungsreihe „Ingenieurethik“ an der HS Anhalt, Köthen (2016)

Quandt, B., Rossi, R., Bona, G., Lustermann, B., Boesel, L.: Modelling the bend outcoupling of melt-spun polymer optical fibers. 25. POF Plastic Optical Fibres, Birmingham (2016)

Wesselak, V.: Переход индустриального государства на возобновляемую энергетику – как Германия собирается осуществить энергетический поворот. Kasan (2016)

Wesselak, V.: Das Energiesystem Deutschlands im Jahr 2050 und die Konsequenzen für die Thüringer Energiepolitik. 2. Meininger Energiekonferenz, Meiningen (2016)

Wesselak, V.: Welche Speicherinfrastruktur braucht Deutschland 2050? 6. Erneuerbare-Energien-Konferenz Thüringen Erneuer!-bar, Weimar (2016)

Wesselak, V.: 6 Thesen zur Wärmewende. 7. Landesnetzwerktreffen „Energie & Kommune“. Merseburg (2016)

Wesselak, V.: Wie misst man die Energiewende? XXIII. Energie-Symposium, Stralsund (2016)

Wiese, F.M.: Den Erfolg messen. ThEGA-Facharbeitskreis „Effiziente Stadt“. Erfurt (2016)

Wiese, F.M.: Energietechnische Lösungsansätze für energieeffiziente Quartiere. ThEEN-Fachforum „Energieeffiziente Quartierslösungen unter Einbeziehung Erneuerbarer Energien, Erfurt (2016)